

اصدارات المركز العلمي للترجمة

النظرية النسبية الخاصة لاينشتين

د. / حازم فلاح سكيك

www.trgma.com



توثيـــــق

م	البند	البيان
1	المصدر	http://www.howstuffworks.com/
2	الموضوع	http://science.howstuffworks.com/relativity.htm
3	المترجم	د./ حازم فلاح سكيك
4	المراجعة العلمية	
5	المراجعة اللغوية	
6	التصنيف	فيزياء
7	الفئة	مقال
8	عدد الصفحات	51
9	عدد الصور	43
10	عدد الكلمات	11,426
11	التاريخ	2008 - 11 - 24





فهرس المحتويات









النظرية النسبية الخاصة لاينشتين

الحلقة الأولى: أساسيات وخصائص الكون



إذا كنت من مغرمي الأفلام الأجنبية ذات الخيال العلمي science fiction فانك لا بد وان شاهدت احد أفلام Star Trek حيث كثيرا ما يتحدثون حول مصطلحات علمية مثل اتصال الزمان والمكان أو الثقوب السوداء أو التأخير الزمني والكثير من المصطلحات العلمية التي تعود في الأساس إلى النظرية النسبية لاينشتين أو لأحد تطبيقاتها.

إذا خطر على بالك عزيزي القارئ أن تفهم أساسيات النظرية النسبية بدون الدخول في التعقيدات الرياضية التي تأخذ جانبا كبيرا في شرح النظرية النسبية في المحاضرات الجامعية فان هذه المقالة من كيف تعمل الأشياء سوف تشرح لك النظرية النسبية بأسلوب مبسط وواضح بإذن الله.

أساسيات وخصائص الكون

في حياتنا نحن نستخدم كميات فيزيائية أساسية مثل الكتلة والمسافة والزمن لتحديد الكثير من المعلومات حول الأشياء كان نقول أن كتلة السيارة 1000 كيلوجرام أو نقيس المسافة بين القمر والأرض بأحدث الأجهزة والتي نعرف إنها تساوي 400,000 كيلومتر تقريبا وان نحسب الزمن المستغرق لرحلة بين دولتين على أنها ساعتين وأربعون دقيقة وعشرون ثانية. هذه الكميات أيضا نستخدمها في وصف الكون الذي نعيش فيه ولكن النظرية النسبية تخبرنا بان هذه الكميات الفيزيائية تتغير خصائصها وتصبح مختلفة وتتصرف بغرابة! ولكن قبل أن نوضح المقصود بذلك دعنا نوضح بعض المعلومات المتعلقة بهذه الكميات الفيزيائية.

المكان Space



المكان هو الذي نحدده بثلاثة متغيرات وهي البعد الأفقي والبعد الرأسي والارتفاع والتي نعرفها بالأبعاد المكانية والتي نحددها بالإحداثيات الثلاثة x,y,z فمثلا وأنت جالس في الغرفة وأردت أن تحدد مكان المصباح الكهربي المعلق في سقف الغرفة فانك سوف تفترض نقطة مركزية تسند لها قياساتك ولتكن احد أركان الغرفة



فتحدد كم يبعد المصباح عن جانبي الحائط وكم يرتفع عن سطح الأرض هذه الأبعاد الثلاثة نستخدمها طوال الوقت في تحديد مواقعنا على الأرض وكذلك نستخدمها في تحديد مواقع الأقمار الصناعية والطائرات والأبنية على الأرض ودائما نختار نقطة إسناد محددة لنصف الأبعاد بالنسبة لها.

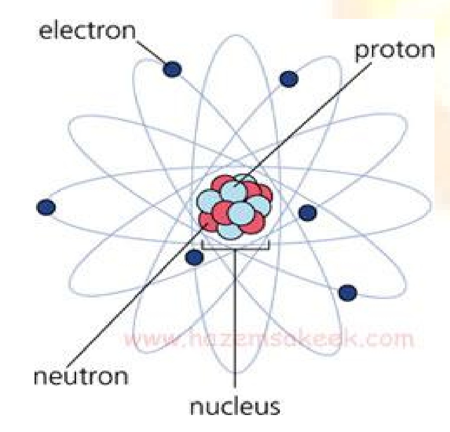
وبسبب هذه الأبعاد الثلاثة أصبح لدينا مصطلحات مثل يمين ويسار وفوق وتحت وأمام وخلف.

الزمان Time



يعتبر الزمان هو البعد الرابع للأبعاد المكانية التي تحدثنا عنها قبل قليل، ففي الحياة العادية نستخدم الزمن كأداة لقياس وتحديد زمن حدوث حدث معين في الفضاء. مثلا نقول إن الطائرة أقلعت من المطار في الساعة الثامنة صباحا أو أن نستخدم الزمن لتحديد موعد الاجتماع وهنا نستخدم الأبعاد الأربعة فنحدد مكان الاجتماع وزمنه ولا يمكن أن يتم الاجتماع إذا اعتمدنا فقط على تحديد المكان فقد لا يلتقي أي من المدعوين على الاجتماع مع بعضهم البعض وكذلك إذا تم تحديد موعد الاجتماع بدون تحديد المكان فقد يذهب كل مدعو في الزمن المحدد لمكان من لا يعرفه الآخرون لذلك الأبعاد المكانية والزمانية متلازمين ونستخدمهما باستمرار مع بعضهما البعض ولهذا سوف نطلق عليهما الزمكان spacetime. أي انه إذا حدث أي حدث في الكون فانه يحدث في مكان وزمان محدد. في النظرية النسبية الخاصة فان الزمكان يأخذ جانبا مهما في تحديد الأحداث وسوف نلاحظ إن الزمن سوف يختلف من شخص لآخر عندما يقومان بقياسات لجسم متحرك بالنسبة لهما، كما إن الزمكان سوف يلغي مفهوم الآنية أو اللحظية أي ان شيئيان حدثان في نفس اللحظة. والكثير من هذه الأمور الغريبة.

المادة Matter



المادة هي أي شيء يشغل حيزا في الفراغ. فأي جسم تستطيع ان تراه أو تلمسه أو يتحرك بواسطة قوة هو مادة. وكما نعلم ان المادة مكونة من بلايين الجسيمات الدقيقة التي تعرف باسم الذرات. فالماء على سبيل المثال هو عبارة عن مركب من اتحاد ذرتين هيدروجين وذرة أكسجين مع بعضهما البعض ليشكل جزئ الماء H_2O.

ولتوضيح الأمر أكثر دعنا ندخل في تركيب الذرة نفسها حيث ان كل ذرة مكونة من ثلاثة جسيمات هي النيوترونات والبروتونات والالكترونات. النيوترونات والبروتونات



موجودة مركز الذرة في حيز صغير جدا يسمى النواة nucleus والالكترونات تدور حول النواة في مدارات محددة. النيوترونات جسيمات ليس لها شحنة في حين ان شحنة البروتونات موجبة الشحنة والالكترونات ذات شحنة سالبة. تعتبر كتلة البروتونات والنيوترونات كبيرة بالنسبة لكتلة الإلكترون حيث ان كتلة البروتون تعادل كتلة 2000 إلكترون تقريبا. تعتمد خواص المواد على عدد الالكترونات والبروتونات والنيوترونات التي تشكلها.

الحركة Motion



أي شيء يغير مكانه في الفراغ نقول انه يتحرك، وتخيل الآن الأشياء التي تتحرك حولك وإذا نظرت للأمر بشكل أوسع ستدرك انك وأنت جالس تقرأ الآن أيضا تتحرك مع حركة الكرة الأرضية وسوف تكتشف أن كل شيء في هذا الكون في حركة مستمرة. وكما سنرى فيما بعد أن هناك الكثير من الأمور الشيقة التي تصاحب الحركة عند دراستها.

في الحلقة الثانية من هذا المقال سوف نتحدث عن الكتلة والطاقة.



النظرية النسبية الخاصة لاينشتين

الحلقة الثانية: تابع أساسيات وخصائص الكون

الكتلة والطاقة Mass and Energy



الكتلة لها تعريفين مهمين، فالتعريف الأول عام ويستخدم في كل الأحوال ويعرفه الجميع على ان الكتلة هي ما يحتويه الجسم من مادة (أي مقدار ما يحتويه الجسم من جسيمات ذرية مثل البروتونات والالكترونات والنيوترونات). وإذا ما قمنا بضرب الكتلة في عجلة الجاذبية الأرضية نحصل على كمية فيزيائية تعرف بالوزن weight. فعندما نتناول الكثير من الأطعمة على سبيل المثال فان وزننا يزداد وفي الواقع كتلة الجسم هي التي ازدادت، ويجب ان ننتبه لان الكتلة لا تعتمد على مكان وجودها في الفراغ فمثلا كتلة الجسم على الأرض هي نفسها كتلته على القمر أو على المشتري أو حتى في الفراغ والذي يتغير هنا هو الوزن، لان الوزن هو مقدار تأثير الجاذبية على الكتلة ولان الجاذبية تتغير فان الوزن يتغير ولكن الكتلة تبقى ثابتة.

أما التعريف الثاني للكتلة هو مقدار القوة اللازمة لجعل الجسم يتسارع. والكتلة تعتمد على حركة الأجسام بالنسبة لبعضها البعض كما أثبتت ذلك النظرية النسبية الخاصة. حيث وضحت النظرية النسبية ان كتلة الجسم تزداد كلما زادت سرعته، وبالتأكيد هذا أمر غريب ان تزداد الكتلة بزيادة سرعتها والأمر الأخر الذي أضافته لنا النظرية النسبية ان الكتلة هي صورة من صور الطاقة بمعنى انه يمكن ان نحول الكتلة إلى طاقة وان تتحول الطاقة إلى كتلة. ولقد كان لمبدأ تكافؤ الكتلة والطاقة الفضل في اكتشاف الطاقة النووية واستخداماتها المتعددة.

في هذه المرحلة من الموضوع سوف يبدو التعريف الجديد للكتلة صعب بعض الشيء ولكن سوف يتم توضيحه فيما بعد أثناء شرح نتائج النظرية النسبية والمطلوب هنا ان نتذكر ان هناك علاقة بين الكتلة والطاقة.

الطاقة Energy

تعرف الطاقة بأنها مقياس لقدرة نظام معين على بذل شغل work. وتوجد الطاقة في أشكال مختلفة مثل طاقة الوضع potential energy أو طاقة حركة kinetic energy أو غيرها. وكما نعلم فان الطاقة لا تفنى ولا تستحدث من عدم ولكن تتحول من شكل لأخر مثل ان تتحول الطاقة الحرارية إلى طاقة حركية ا وان تتحول الطاقة النووية إلى طاقة كهربية وهكذا بحيث تكون دائما طاقة النظام محفوظة.



الضوء Light

الضوء هو شكل من أشكال الطاقة ويوجد الضوء في حالتين أحيانا يكون للضوء خواص تشبه خواص الجسيمات وأحيانا أخرى يكون للضوء خواص الأمواج فمثلا عندما ندرس ظاهرة الانعكاس أو الانكسار للضوء نتعامل مع الضوء على انه جسيمات مادية ولكن عندما ندرس حيود وتشتت الضوء فإننا في هذه الحالة نتعامل مع الضوء على انه موجات. ولهذا فان الضوء خاصية مزدوجة تعرف باسم duality. ويجب الانتباه هنا إلى ان هذا السلوك المزدوج للضوء لا يعني ان نجد ان الضوء يتصرف كجسيمات وأمواج في نفس الوقت ويكون للضوء سلوك محدد حسب الظاهرة التي ندرسها بحيث تطغى الخصائص الموجية على الخصائص الجسمية في ظاهرة الحيود بينما تطغى الخواص الجسيمية على الخواص الموجية في ظاهرة الانعكاس. ولهذا فإننا نطلق على الضوء بالأمواج الكهرومغناطيسية electromagnetic radiation إذا كنا الضوء يتصرف كانه موجة ونطلق على الضوء فوتونات photons عندما يسلك الضوء سلوك الجسيمات. بمعنى ان الفوتونات هي أشعة كهرومغناطيسية والأشعة الكهرومغناطيسية هي فوتونات.

الفوتون Photon

الفوتون هو الضوء الذي نراه عندما تصدر الذرة طاقة. ففي النموذج الذري الالكترونات تدور في مدارات محددة حول النواة المكونة من بروتونات ونيوترونات. ولهذه المدارات طاقات محددة فعندما ينتقل الإلكترون من مدار مرتفع إلى مدار منخفض فانه يفقد طاقة تصدر على شكل فوتون يحمل فرق الطاقة بين المدارين وعندما ينتقل الإلكترون من مدار منخفض إلى مدار مرتفع فانه يمتص طاقة تساوي بالضبط فرق الطاقة بين المدارين وقد تكون هذه الطاقة التي يمتصها هي فوتون وفي هذه الحالة نقول ان الذرة أصبحت مثارة لان الإلكترون اكتسب طاقة مكنته من الانتقال من مداره حول النواة إلى مدار ابعد. ولكن حالة الإثارة تلك لا تدوم طويلا فما يلبث ان يعود الإلكترون إلى مداره الأصلي مطلقا الطاقة التي اكتسبها في صورة فوتون وتتكرر هذه العملية طالما توفرت مصدر طاقة لإثارة الالكترونات (وبهذا نحصل على الضوء في أنابيب الفلوريسنت).



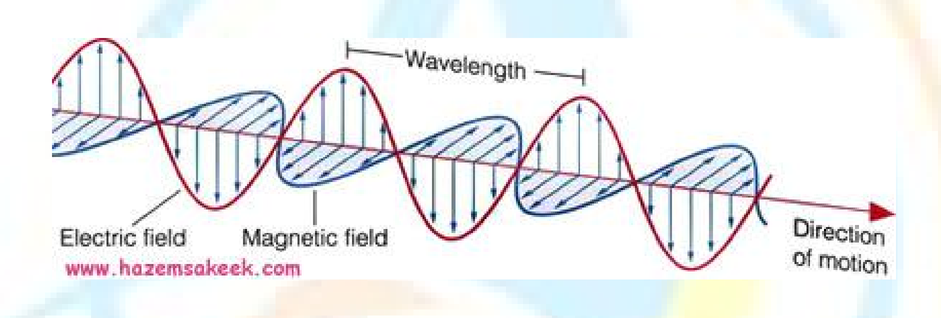
ومن هنا نستنتج ان الفوتونات ناتجة عن إثارة الذرة.





الموجة الكهرومغناطيسية

أما الموجة الكهرومغناطيسية فهي أيضا صورة من صور الطاقة الناتجة عن الحركة الاهتزازية للشحنة.فينتج عن هذه الحركة مجالاً كهربياً ومجالاً مغناطيسياً متردد، ومن هنا جاءت تسمية هذه الأمواج بالأمواج الكهرومغناطيسية، وكلا من المجال الكهربي والمغناطيسي متعامدين على بعضهما البعض. تردد المجال الكهربي يحدد تردد الضوء frequency والذي يعتبر احد الخواص المميزة للضوء فالترددات التي نراها هي التي تقع في المدى بين الأحمر والأزرق والترددات التي تقع خارج هذا النطاق لا نراها بالعين المجردة مثل أمواج الميكروويف أو أمواج الراديو أو أشعة اكس. ولكما زادت تردد الأشعة الكهرومغناطيسية زادت طاقته. فمثلا طاقة أشعة اكس كبيرة ولذلك تستطيع هذه الأشعة اختراق أجسامنا.

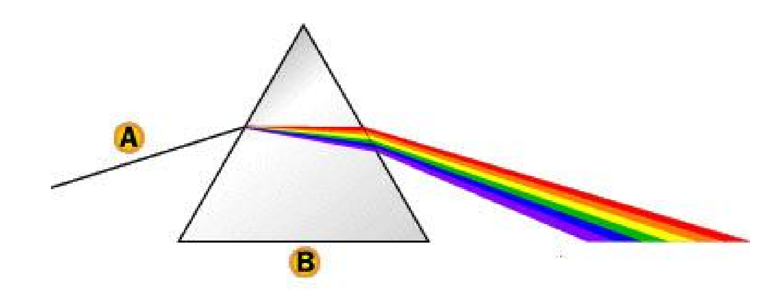


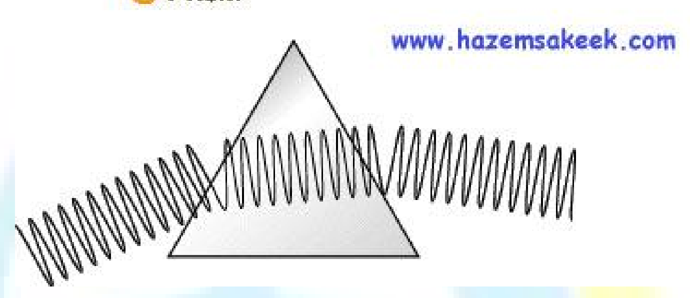
لهذا نلاحظ ان الضوء ينتشر على مدى واسع نسميه الطيف والجزء المرئي منه صغير جدا بالنسبة لكل الطيف وعندما نطلق كلمة ضوء فإننا نقصد الطيف المرئي من كامل الطيف الكهرومغناطيسي.

خصائص الضوء.Characteristics of Light

عندما ينتقل الضوء في الفراغ فانه يعترضه في بعض الأحيان مواد مختلفة، منها ما تجعله ينعكس reflection مثل سطح المرآة ومنها ما يجعله ينحرف عن مساره عندما ينتقل الضوء من وسط مادي إلى وسط أخر مختلف في الكثافة الضوئية ونسمى هذا الانحراف بالانكسار refraction، وإذا كان الضوء يحتوي على ترددات مختلفة مثل الضوء الأبيض فان كل تردد ينحرف بزاوية مختلفة مما ينتج عنه تحلل الضوء إلى ألوان مختلفة نسميها ألوان الطيف، وهذه الظاهرة نعرفها باسم ظاهرة قوس قزح rainbow. ويمكن ان نفصل الضوء الأبيض إلى ألوان الطيف باستخدام منشور prism كما في الشكل التالي:







ولفهم ما يحدث في ظاهرة الانكسار دعنا نفترض موجات الضوء التي تعبر المنشور الزجاجي فلاحظ هنا ان الضوء ينحرف عن مساره عندما يعبر الحد الفاصل بين المنشور والهواء ويعود السبب في ذلك إلى اختلاف سرعة الضوء في الفراغ عنه في الزجاج فالجزء من الموجة الذي عبر الزجاج سرعته تقل بينما الجزء المتبقي من الموجة لا تزال سرعته كما هي وهذا يسبب انحراف الضوء (الانكسار) وعندما ينفذ الضوء من الجانب الأخر للمنشور فانه يحدث نفس الشيء. فينكسر الضوء مرة أخرى.



الخلاصة

هذه بعض المعلومات المتعلقة بالضوء والآن سوف نبدأ في شرح بعض المفاهيم الأساسية عن سرعة الضوء والتي هي نفسها سرعة الأمواج الكهرومغناطيسية ويمكن ان نطلق على سرعة الضوء مصطلح سرعة المعلومات، لأننا لا نستطيع ان نعرف ان حدث ما قد حدث إلا إذا وصلت الضوء المنعكس عن الحدث لنا لنبصره بأعيننا فمثلا لو سقط كتاب على الأرض فإننا نعرف ان الكتاب سقط على الأرض بانتقال الضوء من الكتاب إلى أعيننا وبالتالي ندرك ان حدث سقوط الكتاب قد حدث، كذلك عند حدوث البرق نعلم بان الضوء صدر عن تفريغ كهربي في السحابة وفي نفس الوقت صدر صوت هائل ولكن لان سرعة الضوء اكبر بكثير من سرعة الصوت فنرى الضوء أولا ونعرف بحدوث البرق ثم نسمع الصوت بعد ذلك.

إذا أي حدث ينتقل لنا بسرعة الضوء والتي تبلغ 300,000 كيلومتر في الثانية ولا يمكن ان تكون أسرع من ذلك لان سرعة الضوء هي السرعة القصوى. فمثلا لو تخيلنا قطار طويل جدا بدأ في الحركة فان لا يمكن ان تتحرك العربة الأولى والعربة الأخيرة في نفس الوقت لان الضوء القادم من العربة الأخيرة يستغرق وقت أطول من العربة الأمامية القريبة منا ولهذا ندرك ان العربة الأولى تحركت وبعد عدها تحركت العربة الأخيرة. لاحظ هنا ان الحدث هنا هو حركة العربة الأولى والحدث الثاني هو حركة العربة الأخيرة.



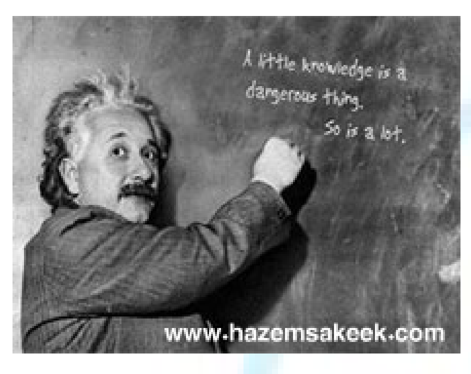
إذا سرعة الضوء هي سرعة المعلومات وهذا الأمر مهم جدا عند دراسة النظرية النسبية الخاصة وسوف نتعرف أكثر على المزيد حول سرعة الضوء في الحلقات القادمة.

في الحلقة الثالثة من هذا المقال سوف نتحدث عن النظرية النسبية.

النظرية النسبية الخاصة لاينشتين

الحلقة الثالثة: الفرضية الأولى للنظرية النسبية

النظرية النسبية الخاصة



من المفترض الآن عزيزي القارئ ان تكون على معرفة تامة بأهم الكميات الفيزيائية التي نحتاجها في شرح النظرية النسبية وهي المكان والزمان والمادة والحركة والكتلة والجاذبية والطاقة والضوء كل هذه المتغيرات تعرضت لها النظرية النسبية الخاصة وغيرت كل مفاهيمنا عنها. ومفتاح فهمنا للنظرية النسبية الخاصة هو تأثيرها على خواص هذه الكميات.

محاور الإسناد Frame of reference

تعتمد النظرية النسبية لاينشتين على مفهوم محاور الإسناد reference frames. ومحور الإسناد ببساطة هو المكان الذي يقوم فيه شخص ما برصد حدث ما. هذا الشخص سوف نسميه المراقب observer لأنه يرصد الحدث ويقوم بالقياسات، فمثلا عند هذه اللحظة وأنت تقرأ في هذا الموضوع يعتبر مكانك هو محاور إسناد، ولأنك جالس قد تعتقد إن محاور إسنادك ثابتة، بالرغم من ان الكرة الأرضية تتحرك حول محورها وتتحرك حول الشمس في نفس الوقت.

ولتمثيل محاور الإسناد بطريقة يسهل التعامل معها رياضيا سوف نستخدم مجموعة من الإحداثيات coordinates لتحديد مكان حدث معين مثل مكان وجود جسم ما مثل شخص أو سيارة أو غير ذلك وإذا كان هذا الشخص متحرك بسرعة معينة أو يتسارع بعجلة ما فإننا نحتاج بالإضافة إلى الإحداثيات المكانية ان نقيس الزمن لذلك سوف نستخدم مع الإحداثيات ساعة.

أي نقطة في الفراغ يمكن تحديدها بدقة باستخدام 3 إحداثيات هي (x,y,z) وإذا كانت هذه النقطة تمثل حدث ما مثل انفجار صغير فان زمن الحدث أيضا يجب أن نحدده لذلك سيكون لدينا بالإضافة إلى الإحداثيات المكانية إحداثي الزمن ولذلك فان الحدث سوف نعبر عنه بـ (x,y,z,t)





وهنا يجب أن نوضح نقطة مهمة وهي انه لا يوجد محور إسناد مميز في هذا الكون فكل محاور الإسناد متكافئة. ونقصد بذلك انه لا يوجد في هذا الكون مكان ثابت لا يتحرك، حاول ان تفكر في هذا الأمر وتبحث عن مكان ثابت! لن تجد فكل الأجرام السماوية في حركة مستمرة وعندما نفترض إننا في حالة سكون فهذا فقط بالنسبة للأجسام التي حولنا، فالكرة الأرضية نفسها تتحرك ونحن نعيش عليها، إذا نحن أيضا نتحرك معها في هذا الفراغ الشاسع.

وبسبب عدم وجود مكان أو جسم في الكون مستقر فانه لا يوجد مكان أو جسم ننسب له حركتنا، فإذا تحرك خالد في اتجاه صديقة محمد فانه يمكن لنا ان ننظر لهذا الأمر بشكل مختلف كان نقول من وجهة نظر محمد انه يتحرك في اتجاه خالد. وكلا من خالد ومحمد له الحق في ان يستخدم وجهة نظره في تحديد الأمر. ومثال أخر لو اننا نظرنا من نافذة السيارة المتحركة على الأشجار على جانب الطريق فإننا نقول ان الأشجار تتحرك بالنسبة لنا، ويمكن أيضا لأي شخص يقف بجوار الأشجار ان يقول ان السيارة تتحرك بالنسبة للأشجار، كلا من في السيارة ومن يقف بجانب الأشجار اعتمد على محاور إسناده، وكما ذكرنا انه لا يوجد محور إسناد مميز لوصف الأحداث بالنسبة له.

طبقا لقوانين نيوتن للحركة فان أي جسم لا يغير من حالته الحركية إلا إذا أثرت عليه قوة خارجية لذلك فان الجسم الساكن يبقى ساكناً والجسم المتحرك يستمر في حركته ما لم تؤثر عليه قوة تغير من حالة السكون أو حالة الحركة.

وبالنسبة لميكانيكا نيوتن (الميكانيكا الكلاسيكية classical mechanics) فان قوانين الفيزياء الممثلة بقوانين الحركة لنيوتن Newton's law of motion في وجود عجلة الجاذبية الأرضية فان القوة تساوي الكتلة في العجلة.

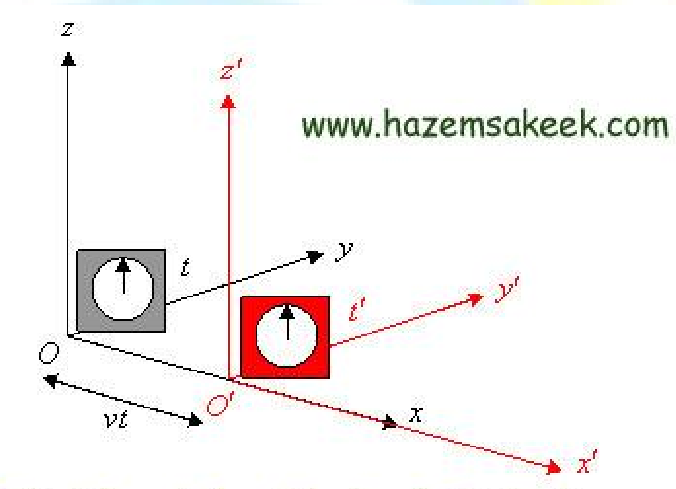


$$force = mass \times acceleration,$$

$$F = ma$$

حيث ان F تمثل القوة و m تمثل كتلة الجسم و a تمثل العجلة. ويعرف هذا بقانون نيوتن الثاني للحركة

لنفترض انه من التجربة العملية ان هذا القانون تحقق في محور إسناد معين كان نقوم بعمل تجربة في مختبر ندرس فيها العلاقة بين العجلة والقوة عندما تكون الكتلة ثابتة. السؤال المهم الآن ماذا لو قمنا بالتحقق من هذه القانون في محور إسناد مختلف كأن نقوم بإجراء التجربة في قطار متحرك بسرعة ثابتة v مثلا وللإجابة على هذا السؤال يجب ان نعرف العلاقة بين المكان والسرعة والعجلة في محور إسناد ما ومحور إسناد أخر، بمعنى أخر إذا كانت لدينا قياسات المكان والسرعة والعجلة في المختبر فكم ستكون تلك القياسات لنفس التجربة في حالة وجودها في محور إسناد متحرك بسرعة ثابتة بالنسبة للمحور الإسناد الأول.



محور اسناد S' متحرك بالنسبة لمحور الاسناد S

لاحظ في الشكل السابق إننا قمنا بإضافة ساعة في كل محور إسناد لتحديد القياسات الزمنية في كل محور إسناد كما إننا رمزنا للمحور الإسناد الثابت بالرمز S بينما لمحور الإسناد المتحرك بسرعة v بالنسبة لمحور الإسناد S بالرمز S’ وذلك للتميز بينهما. كذلك من اجل التوضيح فإننا سوف نرمز للمراقب الذي يقوم بالقياسات في المحور S بالرمز O أما المراقب الثاني في محور الإسناد S بالرمز O’ والآن نريد ان نراقب ونحسب قياسات كلا من المراقبين O و O’ لحدث معين مثل قياس المسافة بين شجرتين أو حساب زمن سقوط حجر من ارتفاع معين أو قياس سرعة طائرة تتحرك بالنسبة لهما، ماذا تتوقع ان تكون قياسات المراقبين لهذه الأحداث هل سوف يختلفان أم يتفقان في القياسات.

الميكانيكا الكلاسيكية (ميكانيكا نيوتن) تخبرنا انه بالتجربة العملية وبالاشتقاق الرياضي ان إذا كان المراقب ’O يتحرك بالنسبة للمراقب O بسرعة ثابتة v فان قياس المسافة بين شجرتين أو قياس زمن سقوط الحجر أو تسارع سيارة بالنسبة لهما لن تتغير بالنسبة للمراقبين، وبالنسبة لسرعة الطائرة فإن المراقب O سوف يقيس سرعتها u بينما المراقب الثاني سوف يقيس سرعة الطائرة ’u حيث ان ’u هي عبارة عن السرعة u مطروحا منها سرعة المراقب ’O.



الحدث هو انطلاق المكوك الفضائي في رحلته والمراقبين كلا منهما في محور إسناده يصفان حركة المكوك

مثل هذه الأمور تحدث في حياتنا العادية حيث إننا لا نلاحظ فرق في المسافة بين شجرتين عندما نقوم بقياسها سواء كنا متحركين بالنسبة لهما أو ثابتين فهذه الأمور عادية في حياتنا اليومية كذلك لو قلنا ان عصا خشبية سقطت أفقيا على الأرض فلا يختلف اثنين على ان طرفي العصا وصلا الأرض في نفس اللحظة حتى لو كان الراصد لسقوط العصا متحرك بالنسبة لها بسرعة v.

هذه الحقائق في النظرية النسبية الخاصة تصبح غير صحيحة وقياسات كلا من المراقبين تختلف فلا يعد يتفق المراقب الثابت مع المراقب المتحرك في قياسات المسافة بين جسمين وكذلك يصبح قياس الزمن مختلف وكل شيء يختلف عما هو مألوف وهذا ما جعل النظرية النسبية تجذب اهتمام العلماء والباحثين والمفكرين وتشد انتباه المتخصصين والغير متخصصين لأنها قلبت المفاهيم وغيرت القوانين الكلاسيكية وأظهرت قصورها وفشلها في تفسير الكثير من الظواهر.

قبل الخوض في هذه الأمور والإجابة عنها سنقوم بتوضيح فرضيات النظرية النسبية حيث إنها مبينة على فرضيتين سوف نقوم الآن بذكر نص الفرضية الأولى والثانية وشرحهما

الفرضية الأولى للنظرية النسبية

الفرضية الأولى للنظرية النسبية كما وضعها العالم اينشتين تنص على:

The laws of physics hold true for all frames of reference.

والتي تعني ان كل قوانين الفيزياء صحيحة لكافة محاور الإسناد. فالقوانين الفيزيائية تساعدنا على فهم كيف ولماذا تتصرف المتغيرات العديدة التي من حولنا على النحو الذي هي عليه. كما إنها تسمح لنا بان بتوقع حدث معين حسب العلاقة الفيزيائية التي تحكمها فمثلا لو كان هناك شخص يتحرك بسرعة معينة في اتجاه الشرق فإننا نستطيع ان نتوقع أين سيكون بعد مرور زمن قدره 20 دقيقة، كذلك لو أردنا بناء سكة حديدية فنعلم من قوانين الفيزياء ان الحديد يتمدد بالحرارة وينكمش بالبرودة ونستطيع حساب مقدار هذا التمدد بالضبط فتقوم الشركة المنفذة للسكة الحديدية بترك مسافات محددة حتى إذا جاء فصل الصيف وارتفعت درجة الحرارة لأقصى قيمة لها فان هذه المسافة كافية لعدم تصادم قضبان السكة الحديدية مع بعضها البعض، وتم حساب المسافات التي يجب ان تترك بين القضبان الحديدية بناء على قوانين الفيزياء المعروفة.



كلا المراقبين يصفا حركة الكرة بالضبط كما يتوقع من قوانين نيوتن وقوى الجاذبية

ولتوضيح ما المقصود بان كل قوانين الفيزياء صحيحة في كل محاور الإسناد دعنا نفترض ان لدينا أداة قياس الطول وليكن مسطرة طولها متر وحجر إسمنتي، فإذا قمنا بقياس الحجر سنجده دائما يساوي نفس القيمة سواء كنت في البيت أو في قطار متحرك أو في طائرة ستجد ان طول الحجر لا يتغير بتغير محاور الإسناد، ومثال أخر على ذلك هو ان نقوم بقياس الزمن اللازم لبندول طوله 12 سم ليعمل 10 اهتزازات كاملة حول موضع استقراره، مرة أخرى سوف نجد ان زمن العشر اهتزازات هو نفسه سواء كان البندول في المنزل أو في باص متحرك بسرعة ثابتة (على افتراض ان الباص لا يتسارع).

والآن لنفترض اننا سنقوم بعمل القياسات السابقة مرة أخرى ولكن بطريقة مختلفة حيث سيكون كلا من الحجر والبندول متحركان بالنسبة لنا (نفترض ان الحجر والبندول في الباص ونحن خارجه) فعندما نقوم بالقياس في هذه الحالة سنجد ان قياساتنا تختلف عنها في الحالة الأولى. وهذا هو المقصود بالفرضية الأولى للنظرية النسبية. ان كل قوانين الفيزياء صحيحة في كل محاور الإسناد.

قد تجد عزيزي القارئ نفسك مشوشا بعض الشيء عند هذه النقطة وان ما ذكرته في الفقرة الأخيرة مخالفاً للعادة ولكن الفرضية الثانية سوف توضح هذا الأمر وتفسره أكثر. وهنا يجب ان نوضح انه نظرا لان قوانين الفيزياء ثابتة لا يعني انه سوف نحصل على نفس النتائج لأي تجربة في محاور إسناد مختلفة. فهذا يعتمد على طبيعة التجربة فمثلا في حادث تصادم سيارتين فإننا سوف نجد ان الطاقة كانت محفوظة في التصادم سواء كنا في داخل السيارة أو خارجها، فقانون الحفاظ على الطاقة من قوانين الفيزياء وبالتالي فان حفاظ الطاقة متحقق في كل محاور الإسناد.

الفرضية الثانية للنظرية النسبية

الفرضية الثانية للنظرية النسبية هي فرضية غير متوقعة حيث تنص على:

The speed of light is measured as constant in all frames of reference.

بمعنى ان قياس سرعة الضوء لا يتغير بتغير محاور الإسناد!

في الحلقة الرابعة سوف نقوم بشرح الفرضية الثانية بالتفصيل لتتضح الصورة أكثر ان شاء الله.



النظرية النسبية الخاصة لاينشتين

الحلقة الرابعة: الفرضية الثانية للنظرية النسبية

النظرية النسبية متمثلة في فرضيتها الأولى والثانية جاءت غريبة ومخالفة لكل المفاهيم الفيزيائية في ذلك الوقت 1904 وقد رفض العلماء الاعتراف بها في بادئ الأمر ولكن هذا الأمر لم يستمر طويلا فقد كانت النظرية النسبية تفسر تجارب علمية لم يتمكن العلماء من تفسيرها على مدار سنوات طويلة بالاعتماد على الميكانيكا الكلاسيكية مثل تجربة ميكلسون مورلي لقياس سرعة الضوء بالنسبة للأثير فجاءت النظرية النسبية لتقول ان سرعة الضوء لا تتغير وانه لا يوجد أثير من الأساس علما بان الأثير هو وسط خيالي بنا عليه العلماء كل نظرياتهم وتفسيراتهم وتحليلاتهم حول الأشعة الكهرومغناطيسية فاتت النظرية النسبية لتنفي هذه المزاعم وتفتح آفاقا جديدة. لنتابع سويا شرح الفرضية الثانية.

الفرضية الثانية للنظرية النسبية

لقد تحدثنا حول الفرضية الأولى للنظرية النسبية والآن دور شرح وتوضيح الفرضية الثانية والتي تنص على ان سرعة الضوء لا تتغير بتغير محاور الإسناد، وقد يبدو هذا الأمر غريبا عند التفكير فيه. فمعنى الفرضية الثانية انه بغض النظر عن ما إذا كان المراقب الذي يقيس سرعة الضوء ثابتا بالنسبة للضوء أو متحركا بسرعة بالنسبة للضوء فإنه في كلا الحالتين ستكون سرعة الضوء هي نفسها. الغريب في هذا الأمر اننا دائما عندما نقيس سرعة الأجسام المتحركة بسرعة معينة ان نقوم بحساب سرعة الضوء بالنسبة للسرعة المراقب، على سبيل المثال افترض ان عربة متحركة في اتجاه المراقب بسرعة 50 كيلومتر في الساعة، فإذا قام احد الأشخاص في العربة بإطلاق رصاصة بسرعة 20 كيلومتر في الساعة في اتجاه هدف ما فان المراقب سيقيس سرعة الرصاصة 70 كيلومتر في الساعة أي ان سرعة الرصاصة هي سرعتها عند انطلاقها من المسدس بالإضافة إلى سرعة العربة. أما إذا قام احد ركاب العربة بقياس سرعة الرصاصة فستكون 20 كيلومتر في الساعة لأنه يعتبر ثابت بالنسبة للرصاصة في هذه الحالة.





في الشكل أعلاه نلاحظ ان احد ركاب السيارة A أطلق سهم بسرعة 200km/hr في حين ان شخص أخر B أطلق سهما أخر بسرعة 200km/hr لاحظ هنا اننا سوف نقيس سرعة السهم الذي أطلقه A 300km/hr وهي سرعة السهم وسرعة السيارة بالنسبة لنا.

هذه هي حقيقة ما يحدث عندما نقوم بقياس سرعة أي جسم متحرك، ولكن الأمر مختلف مع الضوء كما جاء في النظرية النسبية والتي خالفت كل معتقدات العلماء في ذلك الزمن حيث تفترض النظرية النسبية ان سرعة الضوء لا تتغير في كل محاور الإسناد، لنعود لمثالنا السابق ونفترض ان سائق العربة قام بإشعال مصابيح العربة فأضاءت الطريق وهنا ستكون سرعة الضوء الخارج من المصباح بالنسبة لسائق العربة (المراقب الثابت بالنسبة لسرعة الضوء) سوف يقيس سرعة الضوء بـ 300,000 كيلو متر في الساعة وهي السرعة المعروفة للضوء في الفراغ. الآن ماذا سيكون قياس سرعة الضوء بالنسبة للمراقب الذي على الطريق هل ستكون سرعة الضوء هي 300,050 كيلو متر في الساعة أي سرعة الضوء بالإضافة إلى سرعة العربة نفسها. الإجابة هي لا، بل ستبقى سرعة الضوء هي نفسها 300,000 كيلومتر في الساعة. ولفهم لماذا يحدث هذا الأمر يجب ان نتطرق إلى مفهوم السرعة.



كلا من المراقبين A و B يقيسان سرعة نبضة الضوء 300,000km/hr مهما كانت سرعة العربة

السرعة هي المسافة المقطوعة في فترة من الزمن. فعلى سبيل المثال إذا كنت تقطع مسافة قدرها 60 كيلومتر في الساعة فان سرعتك تكون 60 كيلومتر في الساعة. ويمكن بسهولة ان نغير من السرعة عن طريق العجلة أما بالزيادة أو النقصان. وبالتالي لكي تكون سرعة الضوء ثابتة حتى لو كان الضوء منطلق من سيارة مسرعة فان شيئين سوف يحدثان. إما ان يكون في المسافة أو ان يكون في الزمن ولذلك فانه نتيجة للفرضية الثانية للنظرية النسبية فان انحراف سوف يحدث للمسافة وللزمن.



على الهامش

تحويلات لورنتز Lorentz Transformations

تحويلات لورنتز هي عبارة عن معادلات رياضية تمكننا من تحويل القياسات التي قام بها مراقب في محاور إسناد معينة إلى مراقب أخر في محاور إسناد أخرى. والسؤال الآن لماذا نريد مثل هذه المعادلات؟ هذا لان النظرية النسبية تتعامل مع محاور الإسناد، فعندما تتوفر لدينا الأبعاد المكانية والزمنية لمراقب ما نستطيع ان نستخدمها لحساب كم تكون هذه الأبعاد في محاور إسناد لمراقب أخر يتحرك بسرعة v بالنسبة للمراقب الثاني. بمعنى انه يمكن ان نستخدم معادلات لورنتز لتحويل قياس المسافات والزمن الذي قام به مراقب إلى مراقب أخر. فعلى سبيل المثال إذا كنت تحلق في طائرة وأنا موجود على الأرض، فانك تستطيع استخدام تحويلات لورنتز لتحويل محاور إسنادي إلى محاور إسنادك وأنا استطيع ان أقوم بنفس الشيء في محور إسنادي. فإذا كنت قد قمت بقياس المسافة بين شجرتين على الطريق في محاور إسنادك فيمكنني باستخدام تحويلات لورنتز ان استخدم قياساتك لأحولها لقياسات في محور إسنادي، وهذا يعني ان قياسات المسافة والزمن تعتمد على محاور الإسناد. وقد استخدم اينشتين تحويلات لورنتز لأنه وجد في هذه التحويلات ترجمة حقيقية لنظريته في النسبية، حيث استخدم هذه التحويلات في إيجاد الأبعاد المكانية والزمنية في محور إسناد بالنسبة لمحور إسناد أخر عندما يكون الضوء مقدار ثابت في جميع محاور الإسناد.

لنوضح أكثر ما المقصود بالانحراف في المسافة أو الزمن!

الانكماش الطولي length contraction

في المثال السابق عندما تحدثنا عن إشعال مصابيح العربة، فان المسافة المستخدمة لقياس سرعة ضوء ليست هي المسافة التي قطعها الضوء بالفعل. هذا الأمر صعب التخيل لأنه يعارض المنطق الذي تعودنا عليه فكيف ان المسافة التي قسناها لنحسب من خلالها سرعة الضوء ليست هي المسافة التي قطعها الضوء؟ ولمن هذا ما يحدث بالفعل مع الضوء، فالأجسام المادية المتحركة بسرعة تنكمش



المسافة في اتجاه الحركة، وإذا اقترب الجسم من سرعة الضوء فان المسافة تنكمش أكثر وأكثر حتى تتلاشى إذا افترضنا ان الجسم تحرك بسرعة الضوء.

هذا الأمر يحدث في إذا كان المراقب في محور إسناد مختلف عن محور إسناد الجسم المتحرك، بمعنى انه إذا كان المراقب في محور إسناد الجسم المتحرك (أي انه متحرك معه) فان أبعاد الجسم لن يحدث لها تغير. هذه الظاهرة تعرف باسم الانكماش الطولي length contraction. في الشكل التالي توضيح لظاهرة الانكماش الطولي حيث في الشكل 2 عندما تكون السيارة ثابتة فان طولها يكون هو الطول الحقيقي وهو الطول الذي يقيسه المراقب الثابت بالنسبة للسيارة أما إذا كانت السيارة متحركة بسرعة قريبة من سرعة الضوء فان طولها سوف ينكمش وسوف يقيسه المراقب المتواجد على الطريق (محور إسناده مختلف عن محور إسناد السيارة).



لاحظ أيضا ان الانكماش يحدث في طول السيارة فقط أما بالنسبة لارتفاعها لن يتغير لان الانكماش يحدث فقط في اتجاه الحركة.

في حياتنا العادية لا يمكننا ان نشعر أو نقيس الانكماش الطولي لان كل السرعات التي نتعامل بها اقل بكثير من سرعة الضوء وإذا ما قورنت بسرعة الضوء فإنها تهمل حيث ان سرعة الضوء تبلغ 300,000 كيلومتر في الساعة ولتخيل مقدار هذه السرعة فان الضوء يستطيع ان يدور حول الكرة الأرضية سبع مرات في الثانية الواحدة.

في الحلقة الخامسة من هذا المقال سوف نتحدث عن مفهوم الزمن في النظرية النسبية.



كيف تعمل النظرية النسبية الخاصة لاينشتين

الحلقة الخامسة: مفهوم الزمن في النظرية النسبية



نتابع شرح الانكماش الطولي باستخدام معادلات تحويلات لورنتز، وذلك لنتمكن من حساب مقدار الانكماش الطولي. يعتمد مقدار الانكماش الطولي على سرعة الجسم بالنسبة للمراقب، وكما ذكرنا من قبل إن هذا الانكماش يكون صغير جدا ولا يمكن أن يتم رصده في السرعات العادية وكلما اقترب الجسم من سرعة الضوء أصبح الانكماش اكبر تستخدم تحويلات لورنتز للحصول على مقدار هذا الانكماش عند سرعات مختلفة لجسم ما بالنسبة للمراقب.

وللتعرف على تحويلات لورنتز لنفرض ان لدينا المراقب O’ والذي قام بقياسات مكانية X’ وقياسات زمنية t’ لحدث معين مثل تحديد انفجار في مكان ما في السماء فكيف تكون قياسات مراقب O الذي ينطلق بمكوك فضائي بسرعة مقدارها v، هذا ما تقوم به تحويلات لورنتز والتي هي على الشكل التالي

$$x = \frac{x' + vt'}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \qquad t = \frac{t' + \frac{vx'}{c^2}}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

ملاحظة: سوف نتطرق للمزيد من التفاصيل حول تحويلات لورنتز في حلقات متخصصة.

لنفترض إننا نريد أن نقوم بحساب مقدار الانكماش الطولي لكرة تتحرك بسرعة تصل إلى 90% من سرعة الضوء في هذه الحالة فان المراقب الثابت O بالنسبة للكرة سوف يقيس الطول الأصلي للكرة proper length. لنفترض ان هذا المراقب هو الذي كان ممسكا بالكرة قبل إطلاقها بتلك السرعة، وقام بقياس قطر الكرة فكانت الكرة ثابتة بالنسبة له أو إذا افترضنا إن المراقب كان يسير مع



الكرة بنفس سرعتها كأن تكون الكرة في مركبة فضائية وكان المراقب الثابت بالنسبة للكرة هو احد ركاب المركبة فقاس الطول الأصلي للكرة، وهذه القياسات تعتبر قياسات في محاور إسناد المراقب O والذي افترضنا انه ثابت بالنسبة للكرة، معادلات تحويلات لورنتز تساعدنا في إيجاد قياسات المراقب O' وهو الشخص الموجود على الأرض وكانت سرعة الكرة بالنسبة له تساوي 90% فنحصل على أبعاد الكرة كما يقيسها المراقب O' فإذا كان الطول الأصلي للكرة 25 سم وهو الطول الذي يقيسه المراقب O فان هذه الكرة عندما تمر بجوار المراقب O' بسرعة 90% من سرعة الضوء فانه سوف يجد ان الكرة أصبحت بيضاوية الشكل وان قطرها في اتجاه السرعة اقل من قطرها العمودي على السرعة كما في الشكل التالي



وبالتعويض في تحويلات لورنتز سوف نجد ان قطر الكرة كما يقيسه المراقب O' هو 20 سم، وإذا تحركت الكرة بسرعة 99% فان قطر الكرة سيقل أكثر ويصبح 18 سم. لاحظ هنا ان جميع القياسات والاختلاف في الأبعاد يحدث فقط في اتجاه السرعة.

تأثير النظرية النسبية على الزمن

لقد تم الحديث من قبل ان القياسات الزمنية لحدث ما تصبح مختلفة في محاور الإسناد المختلفة والتي تكون في حركة نسبية بالنسبة لبعضها البعض. وتعرف هذه الظاهرة بالتأخير الزمني time dilation. فالزمن يتباطأ مع السرعة ويصبح ذلك ملحوظا إذا كانت السرعة قريبة من سرعة الضوء، كما هو الحال في الانكماش الطولي فإذا كانت السرعة تقترب من سرعة الضوء فان الزمن سوف يتباطأ وإذا افترضنا ان الجسم وصلت سرعته لسرعة الضوء فان الزمن يتوقف.

مرة أخرى نذكر ان ظاهرة التأخير الزمني موجودة ولكن لا نستطيع ان نلحظها في حياتنا العادية وذلك لان السرعات التي نتعامل معها اقل بكثير من سرعة الضوء.





التأخير الزمني Time Dilation

لنقوم بمحاولة لإثبات التأخير الزمني الناتجة عن فرضيات النظرية النسبية فإننا سوف نستعين بساعتين دقيقتين جدا ولتكن ساعات ذرية atomic clocks وتم ضبط هاتين الساعتين قبل ان نقوم بإرسال احد هاتين الساعتين بسرعة كبيرة في طائرة خاصة. عندما تعود الطائرة من رحلتها فان الساعة في الطائرة تتباطأ بالنسبة للساعة الأخرى على الأرض بنفس المقدار الذي تفترضه النظرية النسبية. لهذا فان الساعة التي تتحرك يكون الزمن فيها أبطأ عندما يرصده مراقب ثابت بالنسبة للساعة أي انه في محور إسناد مختلف عن محور إسناد الساعة المتحركة.

مع الأخذ بعين الاعتبار ان الساعة المتحركة تؤخر بالنسبة للساعة الثابتة طالما استمرت في حركتها أي عندما تعود الساعة من رحلتها فإنها سوف تعود لقياس الزمن بفس المقدار الذي تقيسه الساعة الثانية.

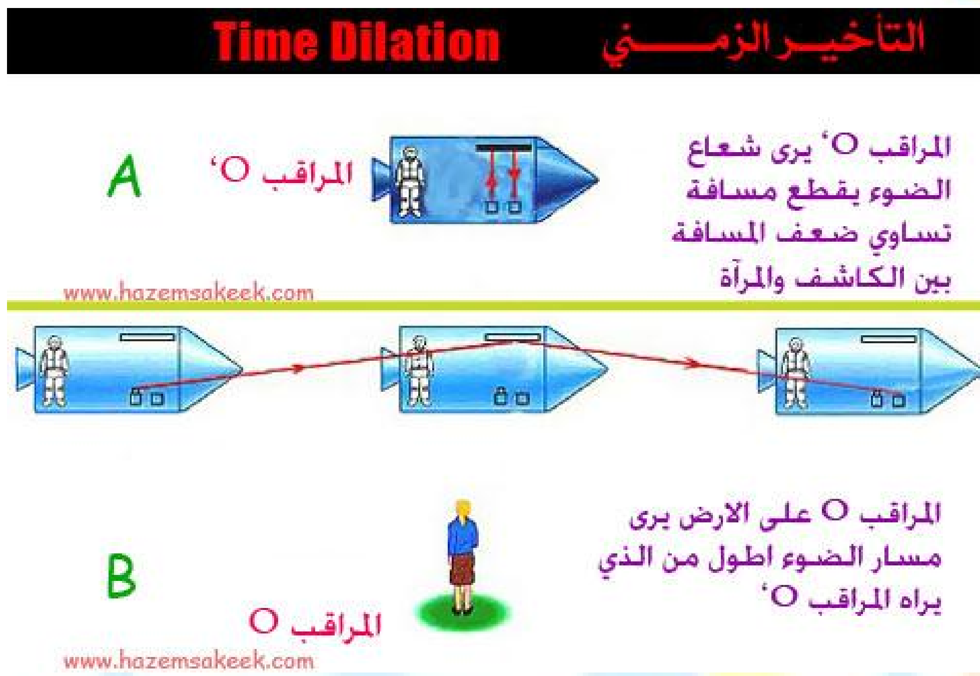
لتوضيح فكرة التأخير الزمني دعنا نستعين بالتجربة الموضحة في الشكل أدناه والذي يستخدم ساعة ضوئية light clock فكرتها تعتمد إرسال نبضة ضوئية في اتجاه مرآة مثبتة أعلى الساعة وعلى ارتفاع وترتد النبضة الضوئية وتعود إلى اسفل الساعة حيث يرصدها كاشف الكتروني. ولنفترض ان الزمن اللازم لنبضة الضوء لتقوم برحلة كاملة هو ثانية واحدة.



وهذه الساعة تعتبر الأنسب لقياس الزمن لأنها تعتمد على الضوء وبالتالي فان الزمن المقاس بواسطتها لن يتأثر سواء كانت الساعة الضوئية متحركة أو ثابتة (تذكر ان سرعة الضوء ثابتة في كل محاور الإسناد).



Time Dilation التأخيـــر الزمـــــني



في الشكل أعلاه إذا كانت الساعة تتحرك بالنسبة لنا (على اعتبار إننا المراقب O الواقف على الأرض) فإننا نرى الشعاع الضوئي يسافر بزاوية في اتجاه العاكس. ما الفرق بين الحالتين في الشكلين A و B؟

لاحظ انه في الحالة A فان النبضة الضوئية أرسلت للعاكس وعادت وقد قطعت مسافة تساوي ضعف المسافة بين العاكس والكاشف ولتكن 2D حيث D هي المسافة بين العاكس والكاشف، لان الساعة في الحالة A لم تتحرك بالنسبة للمراقب ’O حيث ان الضوء صدر وعاد بينما الساعة لازالت بجواره كما في الشكل،

أما في الحالة B فان الساعة أطلقت النبضة الضوئية عندما كانت على يساره ولكن عندما عادت النبضة الضوئية كانت الساعة في مكان أخر على يمينه أي إنها تحركت بالنسبة لنا، ماذا يعني هذا الأمر؟

في الحالة الأولى فان الزمن اللازم لرحلة النبضة الضوئية كان ثانية واحدة فقط عندما كانت الساعة ثابتة بالنسبة للمراقب ’O ولكن عندما تحركت الساعة فان النبضة الضوئية سلكت مسارا أطول بالنسبة للمراقب O ولان سرعة الضوء ثابتة في الحالتين فان الزمن اللازم في حالة الساعة المتحركة سيحتاج إلى زمن اكبر من الحالة الأولى لذا فإننا نقول ان الزمن يتباطأ.



يجب ان نذكر هنا ان سرعة الساعة يجب ان تكون كبيرة جدا وقريبة من سرعة الضوء ليحدث التأخير الزمني.

مقدار التأخير الزمني

لإيجاد مقدار التأخير الزمني نستخدم تحويلات لورنتز فإذا افترضنا إن سرعة الساعة كانت 90% من سرعة الضوء. وعندما نقوم نحن (المراقب O على الأرض) برصد النبضة الضوئية نجد إنها تحتاج إلى 2.29 ثانية. ومن الجدير ذكره ان أي شخص يتحرك مع الساعة (المراقب O' المتحرك مع الساعة) فانه سيجد ان الزمن اللازم هو 1 ثانية. ولهذا فإن المراقب O' يزداد عمره بمقدار 1 ثانية في حين ان المراقب O يزداد عمره بمقدار 2.29 ثانية.

هذا المفهوم مهم جدا، حيث ان الساعة تقوم بقياس الفترة الزمنية بين حدثين في الفراغ. هذه الفترة ممكن ان تختلف زمنيا بالاعتماد على محاور إسناد الساعة التي ترصد الحدث. فإذا كانت سرعة الضوء ثابتة في جميع محاور الإسناد فان الزمن لا بد وان يكون نسبي وان الزمن ما هو إلا أداة لقياس حركتنا في المكان. والزمن خاصية مهمة لتحديد وجود الأجسام في مكان معين في لحظة معينة. وأي حدث يجب ان يحدد في المكان والزمان معا ولا يمكن ان نعتمد على المكان دون الزمان أو الزمان دون المكان.

في الحلقة القادمة سوف نتحدث عن الإثبات العملي للتأخير الزمني والذي اعتبر إثبات عملي للنظرية النسبية،



النظرية النسبية الخاصة لاينشتين

الحلقة السادسة: الإثبات العملي لنسبية الزمن

قد يعتقد البعض ان التأخير الزمني هو ناتج عن تأخير في ساعة المراقب ناتج عن خلل ما ولكن ليس هذا ما تخبرنا به النظرية النسبية فظاهرة التأخير الزمني هي احد النتائج فرضيات النظرية النسبية وبالاخص ثبات سرعة الضوء في جميع محاور الاسناد مما جعل قياس الزمن نسبي وقياس الطول نسبي ايضا، وهذا امر مستغرب جدا علينا ان الفترة الزمنية المستغرقة لحدث ما تعتمد على محاور اسناد المراقب فاذا كان ثابت بالنسبة للحدث فانه سيقيس الزمن الاصلي اما الذي يتحرك في سيارة مسرعة جدا جدا فانه يقيس زمن اقل وكلا من المراقبين قياساته دقيقة وصحيحة في محاور اسناده.

هذا الامر لم يستسغه العلماء في ذلك الوقت ايضا ولكن التجارب العلمية التي لم يكن لها تفسير سوى النظرية النسبية جعل للنظرية النسبية اهمية كبيرة ومحط انظار العلماء وعامة الناس. وفي هذه الحلقة سوف نقوم بذكر احد التجارب التي تؤكد وجود التأخير الزمني.

الإثبات العملي لظاهرة التأخير الزمني

التجربة التي سوف نتحدث عنها هي تجربة اجريت على جسيمات أولية تدعى الميونز muons وهي جسيمات اولية مثلها مثل الإلكترون والبروتون والنيوترون والكوارك وجسيمات بيتا. ولكن الميون هو جسيم غير مستقر (يتحول إلى الكترون بعد فترة زمنية محددة) يحمل شحنة تساوي شحنة الإلكترون وكتلته تعادل 207 كتلة الإلكترون. تنتج هذه الميونات في طبقات الغلاف الجوي العليا نتيجة لامتصاص الأشعة الكونية في طبقات الغلاف الجوي. هذه الميونات لها عمر يساوي 2 ميكروثانية حسب القياسات التي أجريت في المختبر ويعتبر هذا هو العمر الأصلي للميونات لان المراقب (نعتبره O’) الذي قاس عمر الميون في المختبر كان ثابتا بالنسبة له.

فإذا ما قمنا بعملية حسابية بسيطة لنقدر فيها كم المسافة التي سوف يقطعها الميون بعد تكونه في الطبقات العليا للغلاف الجوي مع العلم ان سرعة الميون قريبة من سرعة الضوء، ولإيجاد المسافة التي يقطعها الميون خلال فترة بقائه بضرب سرعته في الزمن نجد ان هذه المسافة تقدر بـ 450 متر.

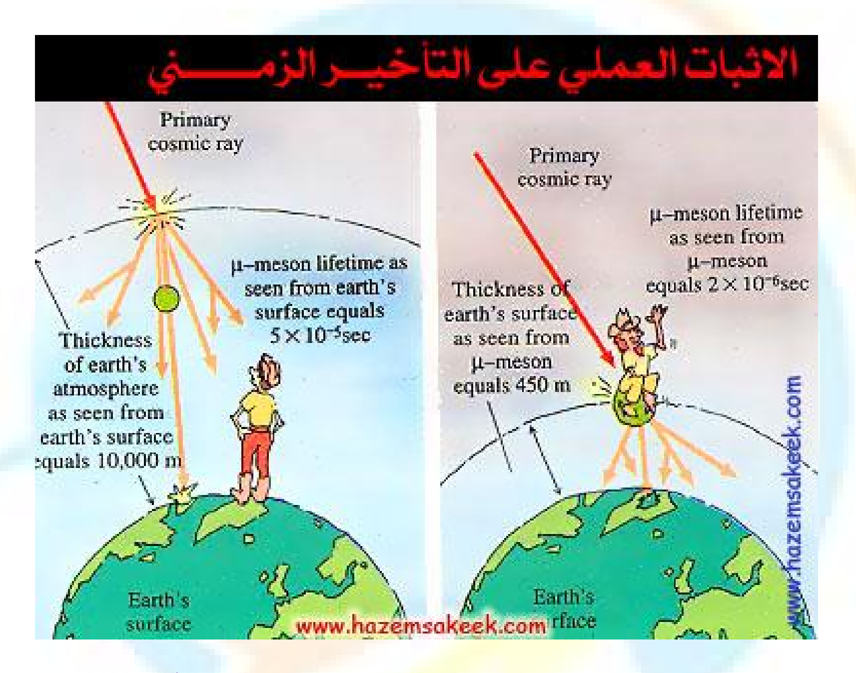
وهذه المسافة قصير جدا بالنسبة لسمك الغلاف الجوي ولا يمكن بالتالي من أن تصل هذه الجسيمات إلى سطح الأرض. كما هو موضح في الشكل أدناه على اليمين حيث ان الميون يتلاشى قبل وصوله للأرض حسب قياساتنا المعتمدة على المعلومات التي وفرها لنا المراقب O’.

ولكن الأمر العجيب هو ان المراصد الأرضية رصدت وجود هذه الميونات على سطح الأرض. السؤال الآن كيف وصلت هذه الميونات إلى سطح الأرض وهذا يعني أنها قطعت مسافة 4800 متر اكبر بكثير من المسافة المتوقعة.



وهنا جاء دور النظرية النسبية في تفسير هذه النتيجة حي قان وصوف الميونات إلى سطح الأرض فان زمن بقائها يكون أطول بالنسبة للمراقب على الأرض باستخدام تحويلات لورنتز لإيجاد زمن بقاء الميون المتحرك بسرعة 0.99c نجد ان زمن بقائه يصل إلى 16 ميكروثانية وهذا زمن كافي لكي تصل الميونات إلى سطح الأرض.

نرى هنا ان عمر الميونات وهي ثابتة بالنسبة للمراقب 2 ميكروثانية ولكن عندما كانت متحركة بسرعة قريبة من سرعة الضوء بالنسبة للمراقب كان زمن بقائها 16 ميكروثانية.



المراقب O على اليمين متحرك مع الميون وبالتالي يكون ثابتاً بالنسبة له والمراقب ’O موجود على الأرض والميون متحرك بالنسبة له بسرعة قريبة من سرعة الضوء.

كذلك تعتبر هذه التجربة أيضا دليلا على الانكماش الطولي فيمكن أن ننظر للأمر على إن الميون المتحرك بالنسبة للغلاف الجوي يجد أن سمكه منكمش ومقداره 450 متر في حين لو قام المراقب ’O بقياس سمك الغلاف الجوي لوجده يصل إلى 10,000متراً .

تجارب أخرى أجيرت على الميونات في العام 1976 في مختبرات CERN بجنيفا وذلك بتعجيل ميونات منتجة في المختبر إلى سرعات تصل إلى 99% من سرعة الضوء وتم قياس عمر بقاء هذه الميونات قبل أن تتحول إلى الكترونات وكانت نتائج القياسات منطبقة تماماً مع معادلة التأخير الزمني.

في الحلقة القادمة بإذن الله سوف نتحدث عن نسبية اللحظة أو نسبية الآنية.

النظرية النسبية الخاصة لاينشتين

الحلقة السابعة: نسبية اللحظة



مما سبق نلاحظ ان النظرية النسبية جاءت بمفاهيم جديدة وافكار عجيبة فكنا في السابق نعرف ان السرعات نسبية فسرعة سيارة بالنسبة للسائق تختلف بالنسبة لسائق اخر في سيارة اخرى وهذا بالنسبة لنا امر نعيشه وندركه، وربما تكون قد قرأت في كتاب الفيزياء المسلية عن قائد الطائرة الذي استطاع ان يمسك رصاصة بيده وذلك لانه كان يتحرك بنفس سرعة الرصاصة فكانت ثابتة بالنسبة له، ولكن النظرية النسبية اتت لتقول لنا ان الزمن ايضا نسبي ويختلف من شخص لاخر في محاور اسناد مختلفة وكذلك الحال بالنسبة للطول فمسطرة طولها 30 سم تصبح اقل اذا تحركت بسرعة قريبة من سرعة الضوء وفي هذه الحلقة سوف نتحدث عن نسبية اللحظة.

نسبية اللحظة Simultaneous events

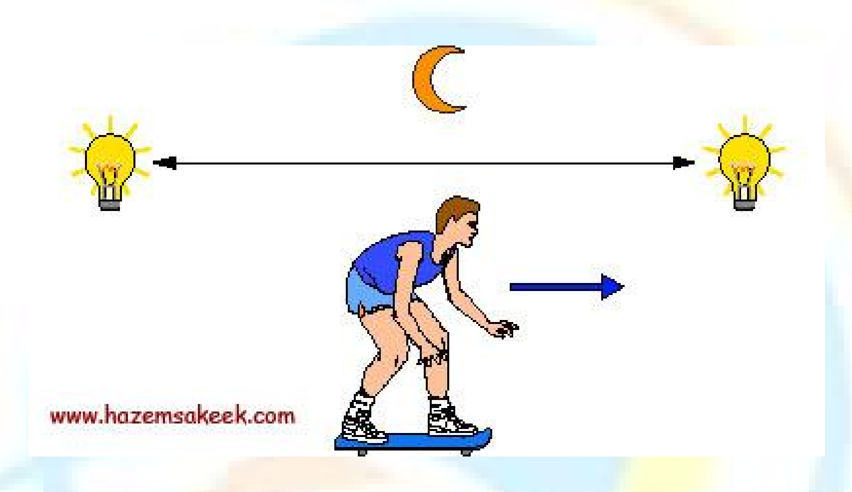
تخبرنا النظرية النسبية انه لا يوجد شيء اسمه نفس اللحظة simultaneity لحدثين مختلفين عندما يرصد من قبل مراقبين في محاور إسناد مختلفة. بمعنى إذا سقط لوحا خشبيا بشكل أفقي على الأرض فإننا نرى ان طرفي اللوح قد وصلا إلى الأرض في نفس اللحظة ان الفارق الزمني بينهما يساوي صفر، ولكن بالنسبة لمراقب أخر في محاور إسناد أخرى تتحرك بالنسبة للوح بسرعة كبيرة فانه سيرصد وصول طرفي اللوح في زمنيين مختلفين ولهذا تقول النظرية النسبية ان مصطلح في نفس اللحظة هو أيضا نسبي وسوف نوضح هذا الأمر بشكل من التفصيل.

دعنا نفترض عزيزي القارئ ان هناك شخص اسمه احمد يقف في ساحة كبيرة وكان هناك مدفعين متماثلين في كل شيء يبعدان عن بعضهما البعض مسافة 100 متر وفوهاتهما متقابلتان. وفي نفس اللحظة أطلق المدفعين قذيفتين فاصطدمتا مع بعضهما البعض على بعد 50 متر أي في منتصف المسافة بين المدفعين حيث كان يقف احمد هناك. وبالطبع لا غرابة في ذلك لان كلا المدفعين متماثلين وان القذيفتين انطلقتا بنفس السرعة فحدث ما حدث كما رصده احمد وكما هو متوقع.

الآن لنفترض ان سعيد كان يتحرك على مزلاجه فائق السرعة في اتجاه احد المدفعين وعلى امتداد الخط الواصل بين بينهما، وعندما كان سعيد في منتصف المسافة بينهما أطلقت المدفعين قذيفتين. ماذا سوف يحدث في هذه الحالة؟

قذيفة المدفع التي كان يتحرك سعيد في اتجاهها سوف تصل له قبل ان تكون القذيفة الأخرى قد وصلت لأنها سوف تقطع مسافة اقصر من القذيفة الأخرى التي يتحرك سعيد مبتعدا عنها.

الآن لنستبدل المدفعين بمصباحين للضوء، فإذا كان احمد يرى ضوء المصباحين في نفس اللحظة. ولكن الأمر يختلف بالنسبة لسعيد فانه سوف يرى ضوء المصباح الذي يتجه إليه أولا ثم يرى ضوء المصباح الثاني بعد ذلك. والشكل التالي يوضح الأمر.



عندما كان سعيد في منتصف المسافة بين المصباحين تم إضاءتهما فرصد هو ضوء المصباح الأيمن قبل ضوء المصباح الأيسر.

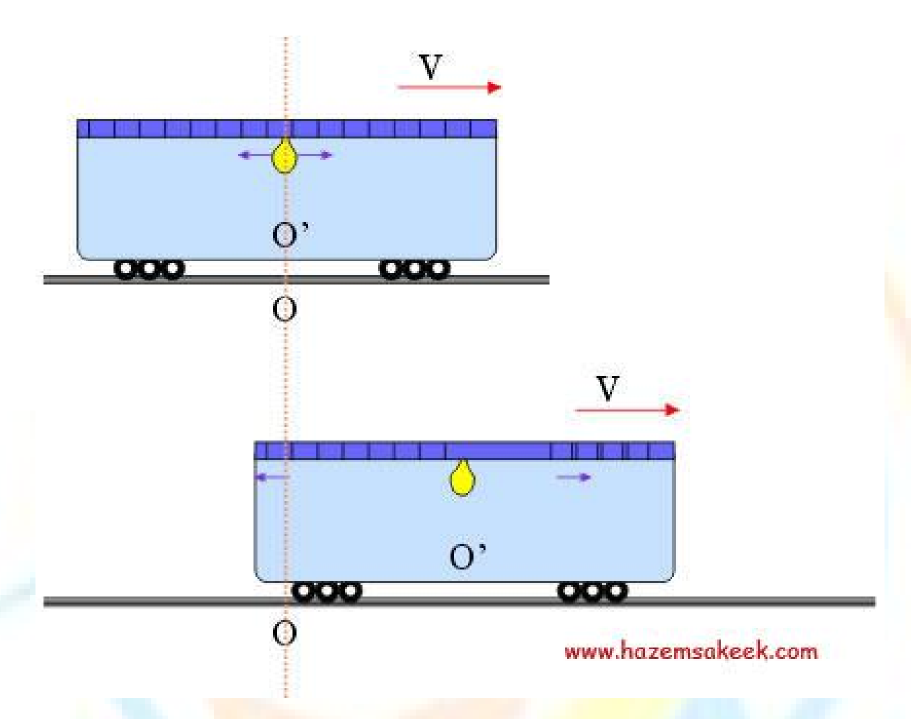
إذا افترضنا ان المصباحين يتصلان مصدر الطاقة مما يعني ان إغلاق المفتاح الكهربي سوف يشعل المصباحين في نفس الوقت بالنسبة للمراقب الثابت وهو احمد ولكن الأمر يختلف بالنسبة لسعيد الذي يتحرك بسرعة كبيرة في اتجاه المصباح الأيمن فسيقطع الضوء مسافة اقصر فيرى سعيد ضوء المصباح الأيمن ولكن ضوء المصباح الأيسر سوف يقطع مسافة اكبر لان سعيد مبتعد عنه فيراه بعد فترة وجيزة من الزمن ولكن ليس في نفس اللحظة وهذا بسبب ان سرعة الضوء ثابتة بالنسبة لجميع محاور الإسناد.

مثال توضيحي

لنستخدم مثالا أخرا لتوضيح الأمر وهي عبارة عن قطار طويل جدا ويتحرك بسرعة قصوى وكان مثبت في منتصفه تمام مصباح كهربي ويوجد على طرفي القطار باب الكتروني يفتح بمجرد وصول

الضوء له. فإذا كان احمد هو احد ركاب القطار وكان سعيد احد الواقفين على الطريق ويراقب القطار السريع. هل سيرصد احمد وسعيد فتح بابي القطار الأمامي والخلفي في نفس اللحظة؟

لنستعين بالشكل التوضيحي أدناه حيث احمد هو المراقب O' وسعيد هو المراقب O والموجود خارج القطار المتحرك لليمين بسرعة كبيرة v.



عندما يضيء المصباح فان ضوءه سوف ينتشر في جميع الاتجاهات وبنفس السرعة c وعندها سيصل ضوء المصباح إلى الباب الأمامي والى الباب الخلفي في نفس اللحظة فيرى احمد (المراقب O') ان البابين فتحا في نفس اللحظة.

ولكن هذا الأمر مختلف بالنسبة لسعيد (المراقب O) فيرى ان الباب الخلفي يفتح قبل الباب الأمامي والسبب في ذلك واضح في الشكل أعلاه حيث ان الباب الأمامي يتحرك مبتعدا عن نبضة الضوء في حين ان الباب الخلفي يتحرك مقتربا من نبضة الضوء وحيث ان سرعة الضوء ثابتة ولان الباب الخلفي يقترب من نبضة الضوء كما يرصدها لنا سعيد فانه سيرى ان الباب الخلفي يفتح قبل الباب الأمامي.

هذه هي نسبية اللحظة حيث يرصد مراقب في محور إسناد معين ان الأحداث تحدث في نفس اللحظة يرصدها مراقب أخر في محاور إسناد أخرى في زمنين مختلفين.

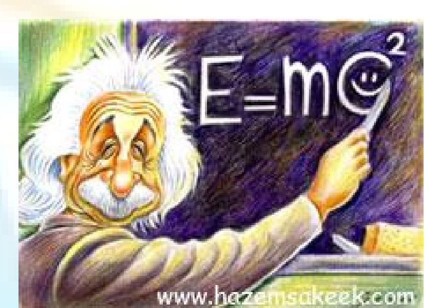
وفي الحلقة القادمة بإذن الله سوف نتحدث عن تكافؤ الكتلة والطاقة.



النظرية النسبية الخاصة لاينشتين

الحلقة الثامنة: مبدأ تكافؤ الكتلة والطاقة

مبدأ تكافؤ الكتلة والطاقة The Unification of Energy and Mass



من أشهر معادلات الفيزياء معادلة تكافؤ الكتلة والطاقة والتي تنص على ان الطاقة تساوي الكتلة في مربع السرعة أي E=mc^2. ماذا تخبرنا هذه المعادلة بالضبط؟ رياضيا، نقول بما أن سرعة الضوء مقدار ثابت فان الزيادة أو النقصان لكتلة نظام ساكن يتناسب طرديا بالزيادة أو النقصان لطاقة النظام. إذا ما كانت هذه العلاقة تخضع لقانون حفظ الطاقة وقانون حفظ الكتلة، فان ذلك سوف يؤدي إلى تكافؤ الكتلة والطاقة. ونتيجة لهذا التكافؤ نحصل على قانون لتحويل الكتلة إلى طاقة أو تحويل الطاقة إلى كتلة. ونستنتج أيضا أن الكتلة والطاقة هما مقدارين لنفس الشيء.

تكافؤ الكتلة والطاقة

إن لقانون تكافؤ الكتلة والطاقة له الأثر الكبير في عصرنا الحالي فهو الذي أدى إلى أن مقدار ضئيل جداً من المادة يمكن أن يعطي كمية هائلة من الطاقة حيث أن الكتلة وذلك كما يحدث في القنبلة النووية والتي تحدثنا عنها في مقال سابق بعنوان كيف تعمل القنبلة النووية وكذلك كيف ان مقدارا صغيرا من كتلة مادة اليورانيوم تستخدم في توليد الطاقة الكهربية من خلال المفاعل النووي والذي تحدثنا عنه أيضا في مقال بعنوان كيف تعمل المفاعلات النووية. ويعود السبب في ذلك إلى انه عندما نضرب كتلة المادة في مربع السرعة ستنتج عنه مقداراً كبيراً جداً من الطاقة (لاحظ ان c^2 هو مقدار كبير جدا). فمهما كانت الكتلة صغيرة سوف ينتج عنها مقدار طاقة هائلة. وكان أول إثبات عملي لقانون تكافؤ الكتلة والطاقة هو تفجير أول قنبلة ذرية في عام 1945.

توصل العالم اينشتين إلى هذا القانون عن طريق تفكيره في إن كتلة الجسم تزداد بزيادة سرعته. وقد توصل إلى هذا الاستنتاج في محاولة لإيجاد تفسير لماذا لا يمكن ان تصل سرعة الأجسام إلى سرعة الضوء وتتجاوزها إذا زودت بالطاقة الكافية لتصل لسرعات عالية جدا وإذا ما قمنا بزيادة تعجيل هذه الجسيمات فإنها سوف تفوق سرعة الضوء وبهذا فان النظرية النسبية تفشل تماما لأنها مبينة على ان سرعة الضوء هي السرعة القصوى ولا تتغير بتغير محاور الإسناد كما ذكرنا من قبل ولذلك. إلا ان النظرية النسبية أيضا صمدت أمام هذا التحدي وان الجسم كلما ازدادت سرعته ازدادت أيضا كتلته وبهذا فان أي طاقة سيكتسبها الجسم المعجل سوف تتحول إلى زيادة في كتلة الجسم، ولذلك فانه من المستحيل ان تصل سرعة الجسم لسرعة الضوء لان كتلته في هذه الحالة سوف تصبح لانهائية ويصعب تعجيلها إذا تخيلنا هذا الأمر.





تسجيل صوتي لاينشتين يتحدث فيها عن معادلة الكتلة والطاقة



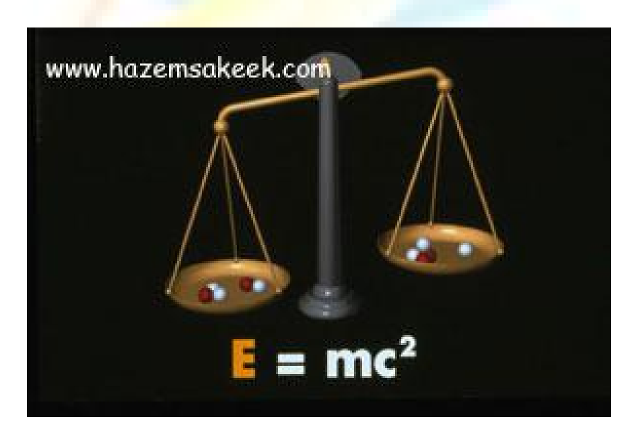
http://www.btinternet.com/~j.doyle/SR/Emc2/Einstein_Equation.wav

(1191Kbytes, .wav file)

From the soundtrack of the film, Atomic Physics

لقد جرت عدة محاولات لهزيمة النظرية النسبية في بداية الأمر وذلك من خلال بناء معجل خطي طوله 1كيلومتر ليعجل الالكترونات إلى سرعة تصل 0.999c من سرعة الضوء وبالفعل تم عمل ذلك ثم أضيفت للمعجل الخطي مرحلة تعجيل إضافية من خلال زيادة طول المعجل السابق كيلو متر أخر حتى تعطي الالكترونات التي بلغت تلك السرعة الكبيرة مزيدا من الطاقة لتصل في نهاية المعجل بسرعة مضافة تفوق سرعة الضوء. وبعد إجراء التجربة تبين ان المرحلة الثانية للتعجيل لم تتمكن من تحقيق ما توقعوا ان يتحقق فكانت سرعة الالكترونات المعجلة 0.999c أي زيادة طفيفة في السرعة، فأين ذهبت طاقة المرحلة الثانية من التعجيل؟ وبحسابات معتمدة على النظرية النسبية تبين بالفعل ان الزيادة في الطاقة للالكترونات السريعة زادت كتلة تلك الالكترونات وكلما زودت الالكترونات بطاقة إضافية تحولت الطاقة إلى كتلة.

بالطبع اينشتين عندما وضع نظريته النسبية وضع كل تفاصيلها وحلل كل نتائجها فبالعودة إلى الفقرة السابقة حيي ثان انتشين استنتج ان الكتلة لابد ان تزداد بزيادة الطاقة ولذلك لا يمكن لأي جسيم مادي ان يصل بسرعته إلى سرعة الضوء فانه أيضا استنتج بناءا على ذلك ان الطاقة تتحول إلى كتلة وان الكتلة تتحول إلى طاقة وان الكتلة هي صورة من صور الطاقة وتربطهما المعادلة الشهيرة E=mc^2 وبالطبع لهذه المعادلة اشتقاق رياضي ولكن لن نتطرق له في هذه الحلقات.



في حالة التفاعلات النووية الاندماجية حيث يتم فصل ذرة إلى ذرتين أو أكثر، وفي نفس الوقت يتحرر نيوترون عن هذا الانفصال. فإذا ما قمنا بدمج كتلة الذرتين الناتجتين مع كتلة النيوترون فإننا سوف نجد

أن مجموع الكتل اقل بقليل من كتلة الذرة الأصلية. فأين اختفت هذه الطاقة؟ قد تكون تحررت في صورة طاقة حرارية أو في صورة طاقة حركية. هذه الطاقة بالضبط هي نفسها المحسوبة من المعادلة E=mc^2 والتي استنتجها العالم اينشتين حيث انه مقدار هذه الطاقة المتحررة يساوي بالضبط مقدار الفارق بين كتلة الذرة الأصلية وكتلة النواتج مضروبا في مربع سرعة الضوء وكانت القنبلة النووية هي احد تطبيقات هذه المعادلة والتي كان لها عواقبها التي نعرفها.



ومعادلة تكافؤ الكتلة والطاقة متحققة في نوع أخر من التفاعلات النووية وهو التفاعلات الاندماجية والتي في حالة اندماج الذرات الخفيفة في وجود درجات حرارة عالية جدا. فتعمل الحرارة العالية على اندماج الذرات مع بعضها البعض لتشكل ذرة اثقل مثل اندماج ذرات الهيدروجين لتكوين ذرات الهليوم. وبمقارنة كتلة الذرة الناتجة مع كتلة الذرات التي اندمجت نجد ان كتلة الذرة الجديدة اقل بمقدار بسيط. وهذا المقدار البسيط من الكتلة المفقودة يظهر في صورة طاقة حرارية وحركية.

في حياتنا العادية قد لا نلاحظ زيادة في كتلة الجسم الذي نكسبه طاقة فمثلا لو قمنا بدلك ساق من الحديد بمغناطيس لتحويله إلى مغناطيس فإننا نكسبه طاقة ونتوقع بناء على ذلك ان كتلة ساق الحديد ازدادت كما انه يمكن ان نتخيل انه بتسجيل البيانات على القرص الصلب فانه من المفترض ان تزداد كتلة القرص الصلب لان تسجيل البيانات ما هو إلا أحداث تغيرات في القطبية المغناطيسية لذرات الهارد ديسك وكذلك نتوقع ان تقل كتلة مصباح كهربي عندما يضيء لان الطاقة الكيميائية تتحول إلى طاقة كهربية وبدورها تتحول إلى ضوء. ولكن لا يمكن ان نلحظ هذا التغير في الكتلة لأنه طفيف جدا جدا وذلك لان مقدار النقصان في الكتلة أو الزيادة في الكتلة يعتمد على مقدار الطاقة المستخدمة والتي هي صغيرة جدا إذا ما قورنت بمربع سرعة الضوء حيث ان m=E/c^2 والناتج سيكون مقدار صغير جدا. ولكن الأمر مختلف تماما في حالة التعامل مع الأجسام الفلكية فعلى سبيل المثال نجد أن الضوء الناتج عن الشمس يعادل كتلة مقدارها 4 مليون طن في الثانية الواحدة!!

وفي ختام هذه الحلقة يجب ان نوضح نقطة مهمة جدا قد تكون فكرت فيها عزيزي القارئ وهي انه لو قمنا بتطبيق قانون اينشتين لتكافؤ الكتلة والطاقة على 1 كيلو جرام من الفحم وقمنا بحرقه للتدفئة في



فصل الشتاء فإن الطاقة الناتجة يجب ان تعادل 90000000000000000 جول وهي طاقة هائلة جدا وبالرغم من ذلك لا نكاد نشعر بالدفء ..

$$\begin{aligned} E &= mc^2 \\ &= 1kg \times (3 \times 10^8 ms^{-1})^2 \\ &= 1kg \times (3 \times 10^8 ms^{-1}) \times (3 \times 10^8 ms^{-1}) \\ &= 1kg \times (9 \times 10^{16} m^2 s^{-2}) \\ &= 1 \times (9 \times 10^{16}) kg\ m^2 s^{-2} \\ &= 9 \times 10^{16} J \end{aligned}$$

ولكن هنا يجب توضيح ان احتراق الفحم ما هي إلا عملية كيميائية تغير من ترتيب جزيئات الفحم ولا تغير من كتلته والذي يحدث في عملية الاحتراق هو اتحاد غاز الأكسجين بالفحم وينتج عن هذا الاتحاد انطلاق طاقة على شكل حرارة انظر موضوع كيف تنشأ النار.

وبالتالي لا مجال لهذه التجربة البسيطة أية علاقة بقانون تكافؤ الطاقة والكتلة.. حيث أن العمليات التي يطبق عليها القانون تسمى التفاعلات النووية.. وقد أثبتت التجارب النووية إن التفاعلات النووية تعطي طاقة تعادل آلاف الملايين من الطاقة التي قد تعطينا أيها عملية الاحتراق.وسوف نتعرض لهذا الموضوع من خلال المقالات العلمية التي تنشر ضمن أقسام موقع الفيزياء التعليمي.

في الحلقة القادمة سوف نتحدث عن ظاهر دبلر في النظرية النسبية





النظرية النسبية الخاصة لاينشتين

الحلقة التاسعة: ظاهرة دبلر

ظاهرة دبلر Doppler Effect



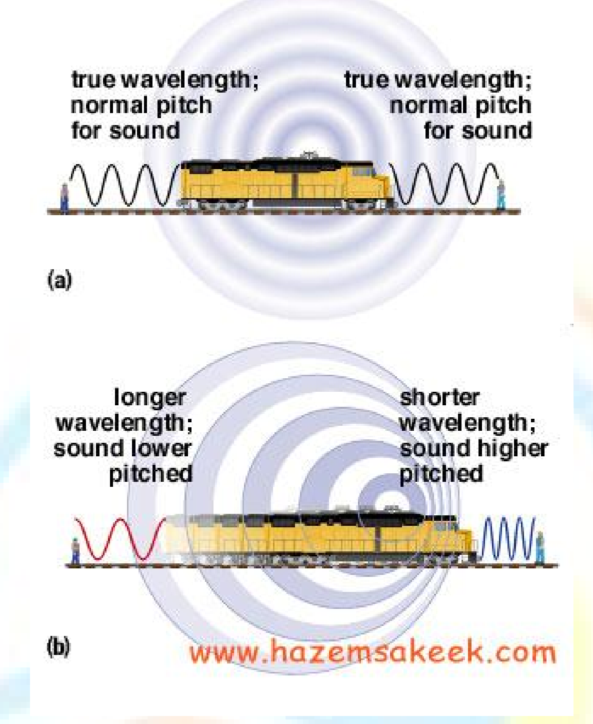
ظاهرة دبلر في النظرية النسبية تنص على ان المراقب يلاحظ انزياح في ترددات الأمواج الكهرومغناطيسية نتيجة لحركة مصدر الأمواج بالنسبة للمراقب. ويكون اتجاه الانزياح معتمدا على العلاقة بين اتجاه انتشار الأمواج الكهرومغناطيسية والمراقب فاما ان يكون مبتعدا أو مقتربا منها. ويعتمد مقدار الانزياح على مقدار السرعة فكلما كانت السرعة كبيرة كلما كان الانزياح اكبر.

ولفهم ظاهرة دبلر فانه من الأفضل ان ندرسها على الأمواج الصوتية، والتي نلحظها بسهولة عندما يتحرك مصدرا صوتيا بالنسبة لنا فمثلا إذا كان هناك سيارة إسعاف تتحرك بسرعة فان صوت التنبه الصادر عنها يكون تردده مرتفعا إذا كانت السيارة مقتربة منا ويقل تردد الصوت بابتعادها عنا. هذا التغير في التردد للموجات الصوتية في المصادر المتحركة مثل سيارة الإسعاف أو سيارة الشرطة أو في القطارات السريعة عندما تطلق زامور التنبيه فهذا التغير يعرف بظاهرة دبلر. ولمزيد من المعلومات حول هذه الظاهرة يمكنك الاطلاع على هذه المحاضرة.



وبنفس الطريقة تحدث ظاهرة دبلر على الضوء (الأشعة الكهرومغناطيسية electromagnetic radiation) وسوف نوضح هذه الظاهرة بالاستعانة بالشكل أدناه.





في الجزء العلوي من الشكل أعلاه نلاحظ مصدرا صوتيا ثابتا (القطار) يصدر صوتا مرتفعا في جميع الاتجاهات. وفي الجزء الثاني من الشكل نلاحظ ان المصدر الصوتي (القطار) يتحرك إلى اليمين والأمواج الصوتية مزاحة، فإذا كانت المسافات بين الحلقات (جبهات الموجات) تمثل الطول ألموجي فإننا نلاحظ انه في الحالة الأولى ان الأطوال الموجية في جميع الاتجاهات متساوية ولكن في الحالة الثانية عندما يتحرك المصدر الصوتي تصبح أطوال الموجات اقصر في الجزء الأمامي المقترب من المراقب على يمين القطار وتكون الأطوال الموجية أطول خلف المصدر الصوتي بالنسبة للمراقب على يسار القطار.

إذا كان المراقب يتحرك مقتربا من المصدر الصوتي أو إذا كان المصدر الصوتي يتحرك مقتربا من المراقب فان تردد الموجات الضوئية سوف تزداد والعكس صحيح أي عندما يكون المصدر الصوتي مبتعدا عن المراقب أو ان المراقب يتحرك مبتعدا عن المصدر الصوتي فان تردد موجات الصوت سوف تقل وهذا ما يظهره الشكل الثاني في حالة تقارب الحلقات أمام المصدر أو تباعدها خلفه وكل حلقة تمثل جبهة الموجة.

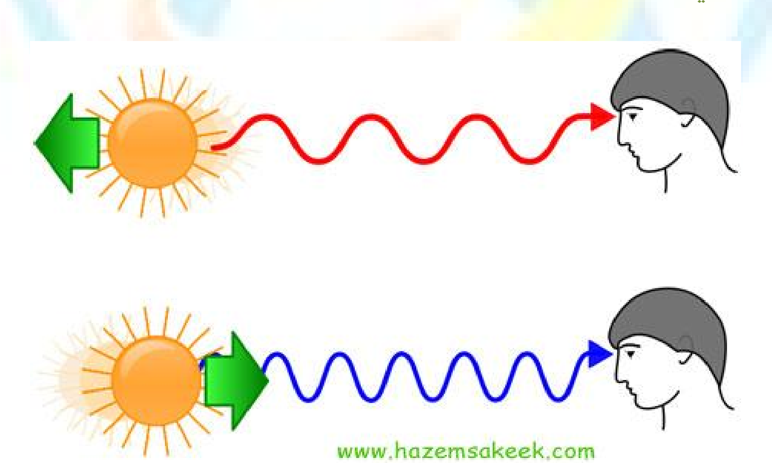
ولان سرعة الصوت اقل بكثير من سرعة الضوء فإننا نلاحظ هذه الظاهرة في حياتنا اليومية في أي مصدر صوتي متحرك بسرعة بالنسبة لنا. وظاهرة دبلر معروفة قبل النظرية النسبية وولها استخدامات عديدة.



بعد ان وضع نظريته النسبية أصبحت ظاهرة دبلر تعرف باسمين هما ظاهرة دبلر الكلاسيكية (في حالة الأمواج الصوتية) وظاهرة دبلر النسبية (في حالة الأمواج الكهرومغناطيسية)، ولان سرعة الضوء كبيرة جدا فان أي مصدر متحرك تكون سرعته مهلة بالنسبة لسرعة الضوء، ولذلك لم يفكر احد في ان يكون هناك انزياح في ترددات الضوء نتيجة للسرعة كما في الصوت، وبالطبع لا يمكن مثلا ان نثبت مصباح ضوء اخضر اللون وعند قيادة السيارة بسرعة كبيرة نراه قد انزاح ناحية لون أخر مثل الأحمر، كما انه لا يمكن لمراقب مسرع ان يلاحظ ان ضوء إشارة المرور الأخضر قد تحول إلى احمر مهما بلغت سرعته، فهذا أمرا مفهوما لان سرعاتنا التي نستخدمها مهملة بالنسبة لسرعة الضوء لذلك فان ظاهرة دبلر لم تكن مطبقة على الضوء قبل النظرية النسيبة، ولكن العالم اينشتين أدرك انه لابد ان تكون هناك انزياح في ترددات الضوء عندما يكون مصدره متحرك بالنسبة للمراقب وبالطبع لم بقيت هذه الفرضية قائمة بدون إثبات عملي لها.

ولإثبات ان ظاهرة دبلر مطبقة على الضوء فانه يجب ان يرصد المراقب الثابت بالنسبة للمصدر الضوئي التردد الأصلي ويرصد المراقب المتحرك بالنسبة للمصدر تردد مختلف.

لنفرض إننا قمنا بقياس التردد الأصلي للمبة الصوديوم في المختبر (اللمبة التي تستخدم لإنارة الطرق في الليل والتي يكون الضوء المنبعث عنها بين الأصفر والبرتقالي). فإذا ما ثبتت اللمبة على مركبة فضائية مبتعدة عنا بسرعة قريبة من سرعة الضوء فإن ترددها المقاس سوف يكون اصغر من التردد الأصلي ويكون لون الضوء المنبعث في هذه الحالة قريبا من اللون الأحمر. أما إذا كانت المركبة الفضائية مقتربة منا فإن الضوء المنبعث عنها يكون ذو لون ازرق وهذا يعود إلى ان التردد المعدل اكبر من التردد الأصلي.

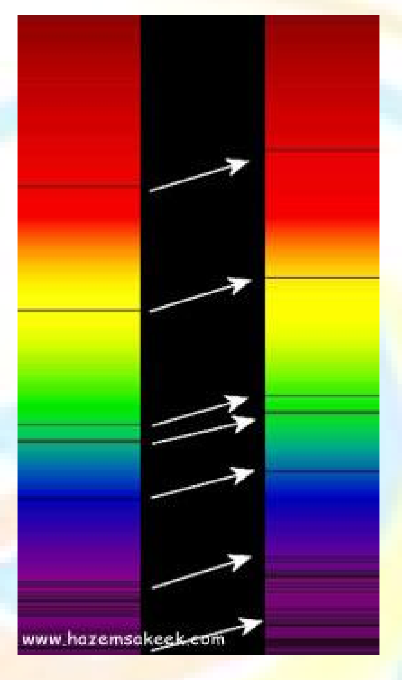


إذا كان المصدر مبتعد عنا فإن التردد المقاس يكون اقل من التردد الأصلي ويحدث ما يسمى بالانزياح ناحية الأحمر Red Shift أي يزاح اللون ناحية الترددات الأقل.

وإذا كان المصدر مقترباً منا فإن التردد المقاس يكون اكبر من التردد الأصلي ويحدث ما يسمى بالانزياح ناحية الأزرق Blue Shift أي يزاح اللون ناحية الترددات الأعلى.



ولقد جاء الإثبات العلمي لظاهرة دبلر مؤكدة على صحة النظرية النسبية وذلك من قبل العالم أدوين هابل Edwin Hubble في العام 1929 برصده لنجم الكويزار Quasarوهو نجم بعيد جداً يبتعد عنا بسرعة كبيرة ومن المعروف ان الضوء الصادر عن النجوم هو ينتج عن الاندماج النووي لذرات الهيدروجين فإذا كنا نعرف طيف الهيدروجين في المختبر فان طيف الهيدروجين المنبعث من نجم الكويزار يجب ان يكون نفسه بدون أي تغير لان الطيف يعتمد على مستويات الطاقة لذرة الهيدروجين وبالفعل تم رصد هذا الطيف ولكن وجد انه مزاحا ناحية الأحمر.



على الجانب الأيسر طيف ذرة الهيدروجين كما قيس في المختبر وعلى الجانب الأيمن طيف ذرة الهيدروجين كما رصد من الضوء القادم من نجم الكويزار

وبإعادة القياسات والتحقق من دقة أجهزة المطاف لم يكن هناك أي خلل تقني يسبب في انزياح طيف ذرة الهيدروجين على النجم المتحرك بسرعة ولكن بتطبيق معادلات ظاهرة دبلر في النظرية النسبية (سيتم ذكرها في دراسة متخصصة حول النظرية النسبية) تبين ان هذا الانزياح هو نفسه الذي اكتشفه العالم اينشتين كأحد نتائج النظرية النسبية واعتبر هذا دليلا أخر على دقة النظرية النسبية والتي استخدمها العالم هابل في حساب سرعة النجم والذي كان يتحرك بسرعة كبيرة جدا مبتعدا عنا لان الانزياح كان ناحية الأحمر ومنها أدرك العلماء ان الكون يتمدد بسرعة كبيرة جدا ومن هنا جاءت نظرية الانفجار العظيم Big Bang لتفسير كيف بدأ الكون والتي وضعها العالم هابل في عام 1929.

في الحلقة القادمة سوف نتحدث عن معضلة التوأم.

النظرية النسبية الخاصة لاينشتين

الحلقة العاشرة: معضلة التوأم Twin Paradox



معضلة التوأم Twin Paradox



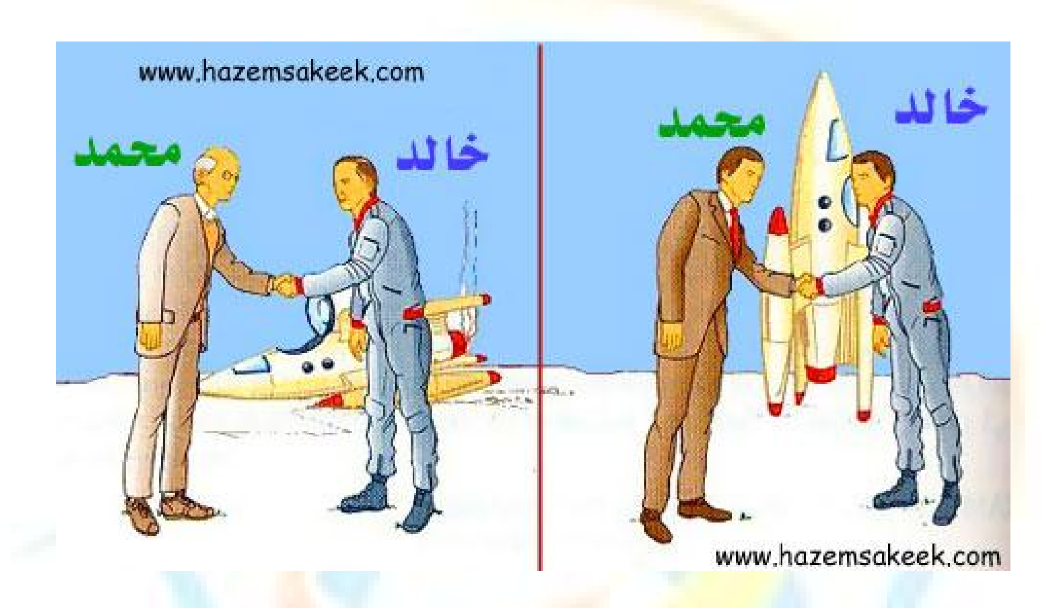
نعلم انه من قواعد النظرية النسبية وأساسياتها انه من الممكن أن يكون هناك أكثر من مراقب في محاور إسناد مختلفة وكل مراقب له الحق في أن يشاهد الأحداث معتمدا على محور إسناده ويمكن أن تختلف مشاهدته عن مراقب أخر في محاور إسناد أخرى، ولذلك كان هناك تأخير في الزمن وكان هناك اختلاف في الطول واختلاف في الأحداث اللحظية. وكل هذه التعارضات يمكن أن نثبت ان لها إجابة منطقية تتفق مع فرضيات النظرية النسبية وكذلك من المشاهدات العملية التي أكدت صحة النظرية النسبية. والآن سوف نتحدث عن تعارض جديد يعرف باسم معضلة التوأم twin paradox.

افترض ان هناك اخوين توأم سنسمي الأول خالد والثاني محمد كلاهما له نفس محاور الإسناد على الأرض. خالد موجود في مركبة فضائية spaceship ومحمد واقف على الأرض. كلا من خالد ومحمد يمتلكان ساعتين متماثلتين ومتزامنتين بدقة مع بعضهما البعض. انطلق خالد في مركبته الفضائية بسرعة هائلة وصلت إلى 60% من سرعة الضوء.

بينما يسافر خالد بعيدا في مركبته فان كلاهما له الحق في مشاهدة الأخر، ونظرا للسرعة النسبية الكبيرة بينهما فان كلا منهما سوف يعيش الأحداث النسبية من تأخير زمني وانكماش طولي. ولتبسيط الموضوع سوف نفترض ان لديهما طريقة دقيقة لقياس ورصد الأحداث التي يمر بها الأخر.

إذا افترضنا ان خالد لم يعد إلى الأرض فانه لا يوجد أي إجابة للسؤال أي منهما كان يتعرض لتأثيرات الأحداث النسبية من تأخير زمني وانكماش طولي؟ لان كلاهما سوف يتفق ان عمر خالد سيكون اقل من عمر محمد، ولهذا فان مرور الزمن بالنسبة لخالد كان أبطء من محمد، ولإثبات ذلك فان كلا منهما يجب ان يراقب ساعة الأخر وهي الطريقة الوحيدة لمعرفة كيف يتقدم الزمن بالنسبة لكلا منهما فكان خالد يراقب ساعة محمد وكان محمد يراقب ساعة خالد وقد افترضنا ان لديهما الوسيلة التي تتيح لهما عمل ذلك.

بالنسبة لخالد فان ساعته سوف تظهر لهانها أخذت وقتاً اقل في رحلة الذهاب والعودة من ساعة محمد. وبينما كان محمد ينتظر عودة خالد فان الزمن بالنسبة له يمر أسرع من مروره بالنسبة لخالد. والسؤال الآن لماذا يحدث هذا إذا كانا كلا منهما يسافر بسرعة 60% من سرعة الضوء بالنسبة لبعضهما البعض، بمعني انه يمكن لخالد في مركبته الفضائية ان يعتبر ان محمد هو من يبتعد عنه بسرعة 60%، وكذلك فان محمد الموجود على الأرض يعتبر ان خالد يبتعد عنه بسرعة 60%.



بالفعل أصبح الأمر محيرا وخصوصا ان كلا من خالد ومحمد سوف يتأثران بالنسبية ونتائجها، حيث إنهما سوف يرى الأخر قد انكمش وتأخر زمنه ولكن الشخص الذي تعرض لتغير في العجلة هو من سوف يكون عمره اقل، وهذا الشخص هو خالد الذي تسارعت مركبته الفضائية من سرعة صفر حيث كانت على الأرض بجوار محمد وكان لهما نفس محاور الإسناد حتى وصلت إلى سرعة 60% من سرعة الضوء، وإذا تعمقنا أكثر في النظرية النسبية سوف نرى ان السبب الحقيقي ليست العجلة بل هو التغير في محاور الإسناد.

حتى يعود خالد ومحمد إلى نفس محاور الإسناد التي بدءا منها حيث كانت السرعة النسبية بينهما تساوي صفر عندما كان يقفان بجانب بعضهما البعض، فإنهما طوال الوقت سوف يختلفان مشاهدات الأخر. وهذا أمر غريب كما يبدو لنا لأننا مرة أخرى سوف نقول بيننا وبين أنفسنا لماذا يحدث هذا وكلا منهما يتعرض لتأثيرات النسبية. ولتوضيح الأمر سوف نستعين بظاهرة دبلر النسبية.



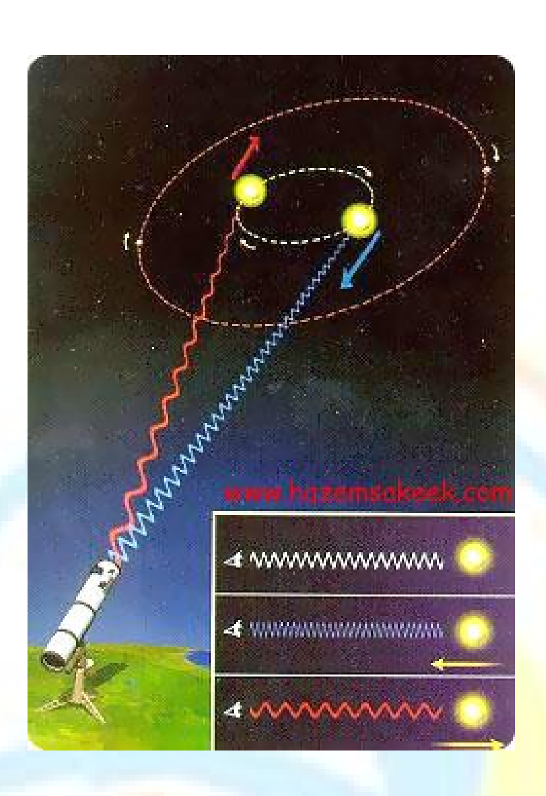
توضيح معضلة التوأم باستخدام ظاهرة دبلر

دعنا عزيزي القارئ الآن وبعد ان أخذت فترة تفكير في ما سبق وقررت ان تستمر في معرفة تفسير هذه الأمور ان نفترض ان خالد ومحمد قررا ان يقوما بالتجربة فعلا وان خالد سوف ينطلق في مركبته الفضائية لمدة 12 ساعة ثم يعود مرة أخرى إلى مكانه في 12 ساعة أخرى أي ان رحلته سوف تستغرق حسب ساعته 24 ساعة. وقد اتفقا مع بعضهما البعض ان يقوم خالد في داخل مركبته الفضائية بإرسال إشارة راديو إلى محمد كل ساعة ليخبره بمرور ساعة من الزمن عليه وهو في داخل مركبته الفضائية. وكما نعرف فان إشارة الراديو هي نوع من أنواع الأمواج الكهرومغناطيسية والتي لها نفس سرعة الضوء c.

على ماذا سوف نحصل عندما يبتعد خالد عن محمد؟ عندما تمر 1 ساعة على خالد فانه سوف يرسل إشارة راديو، ولان المركبة الفضائية تبتعد بسرعة هائلة عن محمد فان إشارة الراديو سوف تتأثر بظاهرة دبلر النسبية مما يجعل محمد يرصد إشارة خالد المرسلة بتردد اقل بمقدار ½ قيمة تردد الإشارة الأصلية. (هذه القيمة ½ التردد تظهر بالتعويض في معادلات ظاهرة دبلر عندما تكون السرعة النسبية تساوي 60% ولهذا قمنا باختيار السرعة لتكون 60% لتسهيل العمليات الحسابية).

وحيث ان التردد الذي يرصده محمد سيكون نصف التردد الأصلي فهذا يعني ان الزمن المستغرق هو ضعف الزمن الحقيقي، (لان الزمن مقلوب التردد). ولهذا فان محمد سوف يرصد إشارة الراديو الأولى بعد مرور ساعتين. عندما يقوم خالد بإرسال الإشارة الثانية بعد مرور ساعة أخرى فان محمد سوف يرصدها بعد مرور 4 ساعات. وعلى هذا الأساس تكون العلاقة بينهما، فكل إشارة يرسلها خالد بعد مرور ساعة تأخذ ساعتين لتصل إلى محمد. عندما يمر 12 ساعة على خالد يكون قد أرسل 12 إشارة راديو إلى محمد الذي يرصد أيضا 12 إشارة راديو ولكن كل إشارة والتي تليها تكون الفترة الزمنية بينهما 2 ساعة، وعليه فان يكون قد مر على محمد 24 ساعة.





الآن يبدأ خالد برحلة العودة فيقوم بالدوران ليعود إلى حيث بدأ رحلته وفي كل ساعة كان يرسل إشارة راديو بنفس الطريقة السابقة تماماً . ولأنه في رحلة العودة يكون مقتربا من محمد فان ظاهرة انزياح دبلر سوف تجعل محمد يرصد إشارات الراديو بتردد مضاعف للتردد الأصلي. ولان تضاعف التردد يعني نصف الزمن، لهذا فان محمد سوف يستقبل إشارات خالد خلال فترات زمنية تساوي 30 دقيقة.

عند مرور 12 ساعة فان خالد يكون قد أرسل 12 إشارة راديو كل ساعة إشارة ولكن بالنسبة لمحمد سوف يرصد الفترات الزمنية بين كل إشارتين بـ 30 دقيقة مما يعني ان 6 ساعات مرت على محمد ليرصد الـ 12 إشارة التي أرسلها والتي تعني مرور 12 ساعة بالنسبة لخالد.

إذا قمنا الآن بحساب الزمن الكلي المستغرق بالنسبة لكلا من خالد ومحمد فان 24 ساعة (12+12) قد مرت على خالد ولكن بالنسبة لمحمد فان 30 ساعة (6+24) مرت عليه.

ولهذا يكون محمد اكبر عمرا من خالد. وإذا سافر خالد مسافة اكبر وبسرعة اكبر فان مقدار الاختلاف في العمر بينهما سوف يزداد أيضا.

ونستمر في مناقشة معضلة التوأم في الحلقة القادمة بإذن الله



النظرية النسبية الخاصة لاينشتين

الحلقة الحادية عشر: تابع معضلة التوأم Twin Paradox

معضلة التوأم باستخدام نسبية اللحظة Twin Paradox Using Simultaneous Events



نسبية اللحظة أداة رائعة لفهم الكثير من الظواهر المتعلقة بالنظرية النسبية. وسوف نقوم بالاعتماد على نسبية اللحظة في توضيح معضلة التوأم مرة أخرى، لذا سوف نعود لكل من خالد ومحمد حيث أن خالد يسافر لمدة 12 ساعة بسرعة 60% من سرعة الضوء ويعود بنفس السرعة.

وبهذا يكون لدينا 3 محاور إسناد مختلفة، محور الإسناد الأول عندما يكون كلا من خالد ومحمد على الأرض بدون أي سرعة نسبية بينهما. ومحور الإسناد الثاني عندما ينطلق خالد في رحلة الذهاب، ومحور الإسناد الثالث عندما يبدأ خالد في رحلة العودة.

وسوف نقوم بحساب الفترات الزمنية لكل من رحلة الذهاب ورحلة العودة حسب محاور الإسناد المختلفة ومن وجهة نظر كلا من خالد ومحمد وسوف نستعين بمعادلات تحويلات لورنتز لإيجاد القياسات الزمنية لمحمد بالنسبة لخالد والعكس، وسوف نكتفي بذكر نتيجة الحسابات بدون عرض المعادلات الرياضية.

محور الإسناد الأول

محمد وخالد يتفقان على كل شيء يشاهدانه، وهذا بالتأكيد واضح ومفهوم لأنه في هذا المحور سرعتهما النسبية تساوي صفر.

محور الإسناد الثاني

عندما يسافر خالد لمدة 12 ساعة حسب توقيت ساعته، فإننا نعلم من النظرية النسبية ان محمد سوف يلاحظ تأخير زمني في رحلة الذهاب لخالد، ولهذا فان خالد سوف يسجل 12 ساعة ولكن محمد سوف يسجل 15 ساعة. (تذكر انه عندما تكون السرعة النسبية تساوي 60% من سرعة الضوء فان التأخير



الزمني سيكون 80%). ولهذا إذا كان خالد يسجل رحلته 12 ساعة وهذا بالضبط 80% من عدد الساعات التي قاسها محمد والتي كانت 15 ساعة. ولكن ماذا سوف يلاحظ خالد على قياسات الزمن حسب ساعة محمد؟ إن خالد سوف يلاحظ تأخير زمني يؤثر على محمد، ولهذا فانه سوف يقيس رحلته لتكون 12 ساعة ولكنه سوف يقيس 9.6 ساعة (80% من 12 ساعة) بالنسبة لساعة محمد.

إذا

محمد يقيس حسب ساعته 15 ساعة، ولكن خالد يقيس 12 ساعة.

خالد يقيس حسب ساعته 12 ساعة ولكن محمد يقيس 9.6 ساعة.

من الواضح هنا إن الحدث والذي هو وصول خالد لنهاية رحلة الذهاب، ليس متزامنا simultaneous بالنسبة لكلا من خالد ومحمد، حيث ان خالد يعتقد إن الزمن الذي يقيسه محمد هو 9.6 ساعة في حين ان محمد يعتقد ان الزمن الذي يقيسه هو 15 ساعة.

هذا بالنسبة لرحلة الذهاب ماذا عن رحلة العودة؟ وهذا ما سوف نناقشه فيما يلي:



محور الإسناد الثالث

من وجهة نظر محمد لا يحدث شيء جديد فهو باقي في مكانه في محور إسناده حيث غادر خالد وعاد ومحمد لم يغير مكانه. ولهذا فان محمد يقيس زمن رحلة العودة 15 ساعة بالنسبة لمحور إسناده وهو نفس الزمن الذي قاسه لرحلة الذهاب، ويلاحظ أيضا إن الرحلة تستغرق 12 ساعة بالنسبة لساعة خالد.

من وجهة نظر خالد فهو الذي تعرض لتغير كبير حيث تغير محور إسناده من محور إسناد في حالة الذهاب وتغير مرة أخرى في حالة العودة. فعند بدأ رحلة العودة نظر خالد لساعته فلاحظ إنها تقرأ 12 ساعة مرت ولكن ساعة محمد تقرأ 20.4 ساعة.



لنفكر قليلا في هذا الأمر، خالد يرى ان ساعة محمد قفزت من 9.6 ساعة إلى 20.4 ساعة! كيف حدث هذا؟

عندما انتقل خالد من محور الإسناد الثاني إلى محور الإسناد الثالث فان العلاقة الثابتة بينه وبين محمد اختلت، وذلك بسبب تغير في عجلة التسارع عندما انتهت رحلة الذهاب وبدأ رحلة العودة.

محمد يقيس مدة رحلة العودة 15 ساعة ولكن خالد يقيسها 12 ساعة، ويقيس خالد رحلته حسب ساعة محمد فيجد إنها تستغرق 9.6 ساعة.

قياسات محمد لرحلة الذهاب والعودة

15 ساعة لرحلة الذهاب + 15 ساعة لرحلة العودة = 30 ساعة

قياسات محمد حسب ساعة خالد

12 ساعة لرحلة الذهاب + 12 ساعة لرحلة العودة = 24 ساعة

قياسات خالد لرحلة الذهاب والعودة

12 ساعة لرحلة الذهاب + 12 ساعة لرحلة العودة = 24 ساعة

قياسات خالد حسب ساعة محمد

20.4 ساعة لرحلة الذهاب + 9.6 ساعة لرحلة العودة = 30 ساعة

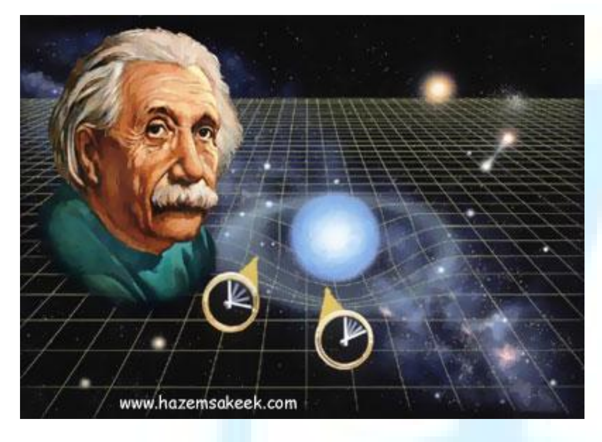
والسؤال الذي يطرح نفسه هو هل يمكن ان نجد حدث ما يمكن ان يرصده خالد ومحمد ومراقبين آخرين في نفس اللحظة؟ بالطبع لا. حيث ان كلاهما يقيس ويلاحظ قياساته وقياسات الأخر والحقيقة إنهما لا يقيسان نفس الحدث. ومن المستحيل لكليهما ان يحدد نهاية رحلة الذهاب في نفس اللحظة لان كلا منهما يراقبان الحدث في محاور إسناد مختلفة ويقيسان أزمنة مختلفة. ومن الملاحظ أن نفس النتائج حصلنا عليها عندما ناقشنا المعضلة بالاعتماد على ظاهرة دبلر Doppler effect.

وفي الحلقة القادمة والأخيرة سوف نتحدث عن السفر عبر الزمن time travel.



النظرية النسبية الخاصة لاينشتين

الحلقة الثانية عشر: السفر عبر الزمن Time Travel



السفر عبر الزمن Time Travel

هل يمكننا أن نسافر إلى الماضي، أو إلى المستقبل؟ هل هذا ممكن؟ وهل أفلام الخيال العلمي تحمل في طياتها ثقة العلماء في أن يتحقق حلم الإنسان في السفر عبر الزمن؟

في عام 1971 قام العلماء بتجربة حول نسبية الزمان, فتم وضع أربع ساعات ذرية من السيزيوم على طائرات نفاثة تقوم برحلات منتظمة حول العالم، في اتجاهات شرقية وغربية. وبمقارنة الأزمنة التي سجلتها الساعات على الطائرات مع الزمن الذي سجل بمرصد البحرية الأمريكية، وجد أن الزمن المسجل على الطائرات أبطأ منه على الأرض بفارق ضئيل يتفق مع قوانين النسبية الخاصة.

وفي عام 1976 وضعت ساعة هيدروجينية في صاروخ وصل إلى ارتفاع 10,000 كيلومتر عن سطح الأرض، حيث أصبحت الساعة على الصاروخ في مجال جاذبي أضعف منه على سطح الأرض (وهذه التجربة لها علاقة بالنظرية النسبية العامة التي تدرس العلاقة بين الزمن والجاذبية). وقورنت إشارات الساعة على الصاروخ بالساعات على الأرض، فوجد أن الساعة على الأرض أبطأ منها على الصاروخ بحوالي 4.5 جزء من عشرة آلاف مليون من الثانية، بما يتفق مع تنبؤات النسبية العامة بدقة عالية. والساعة الهيدروجينية الحديثة تعمل بدقة يعادل فيها الخطأ ثانية واحدة في كل ثلاثة ملايين سنة. وهذه القياسات تثبت – بلا شك - الظاهرة المعروفة بتمدد الزمن, والتي تعد أهم تنبؤات النظرية النسبية. فالتجربة الأولى تثبت أن الزمن (يتمدد) كلما ازدادت سرعة الجسم، أما التجربة الثانية فتثبت أن الزمن يتمدد إذا تعرض الجسم لمجال جاذبي قوي.

وتمدد الزمن ليس مفهوما فيزيائيا نظريا خاصا بالأجسام الدقيقة دون الذرية، وإنما هو تمدد حقيقي في الزمن الذي يحيا فيه الإنسان. فلو زادت سرعة إنسان ما في سفينة فضاء مثلا إلى حوالي 87% من سرعة الضوء، فإن الزمن يبطؤ لديه بمعدل 50.% ولو سافر على السفينة لمدة عشرة أعوام - مثلا - فسيجد ابنه المولود حديثًا قد أصبح عمره عشرين عامًا، أو أن أخيه التوأم يكبره بعشرة أعوام.

إن تمدد الزمن والسفر في الزمن، هو حقيقة مثلما أن الأرض كروية وأن المادة تتكون من ذرات وأن تحطيم الذرة يطلق طاقة هائلة. كما أن السفر بسرعة تقترب من سرعة الضوء هو أمر ممكن فيزيائيا وتكنولوجيا، فقد اقترح أحد العلماء تصميم سفينة فضائية تعتمد على محرك دمج نووي يستخدم المادة





المنتشرة في الفضاء كوقود، وأن يتم التسارع بمعدل يساوي عجلة الجاذبية الأرضية. وفي تصميم كهذا يمكن أن تصل سرعة السفينة إلى سرعة قريبة من سرعة الضوء خلال عام واحد، وبالتالي يبطؤ الزمن إلى حد كبير، وبالنظر إلى التطور المستمر للتكنولوجيا حاليًا يصبح من المعقول تمامًا افتراض إمكانية بناء مثل هذه السفينة الصاروخية في المستقبل.



والسؤال الذي يطرح نفسه هنا ما علاقة النظرية النسبية والسفر عبر الزمن؟ ان هذه العلاقة وجدت مع معضلة التوأم التي تنبأت بها النظرية النسبية. حيث وجدنا انه كلما كانت السرعة التي انطلق بها احد التوأمين كلما كان الفارق الزمني كبيرا والحلم الذي يراود العلماء والمفكرين هو ان تبلغ السرعة النسبية سرعة الضوء وهنا يتوقف الزمن وإذا فاقت سرعة الجسم سرعة الضوء فان السفر عبر الزمن سيكون ممكنا.

وكل ما يعتقد بصحة النظرية النسبية فانه سوف يدرك على الفور ان الأحداث التالية سوف تتحقق وهي على النحو التالي:

حتى تستطيع السفر بسرعة اكبر من سرعة الضوء فان ذلك يعني ان الجسم مر بسرعة الضوء مثلما لو كنت تسافر بسرعة 50 كيلو متر في الساعة فمن المؤكد انك مررت بسرعة 49 كيلو متر في الساعة. وحيث ان النظرية النسبية تستنتج ان الزمن يتوقف عند سرعة الضوء وان الطول ينكمش إلى لاشيء وان الكتلة تصبح لانهائية بحيث تقاوم أي تسارع وهذا يتطلب طاقة لانهائية لتحريكه. وهذه الشروط تجعل الأمر غير مناسب للحياة.

لذلك فإننا نستطيع ان نستنتج ان السفر عبر الزمن بالاعتماد على النظرية النسبية يحتاج إلى التغلب على الكثير من الأمور المستحيلة، وبإذن الله سوف نناقش موضوع السفر عبر الزمن بالاعتماد على النظرية النسبية العامة في موضوع منفصل.



الخلاصة Conclusion

من ما سبق نجد ان النظرية النسبية تتعامل مع ظواهر غريبة عنا مثل الانكماش الطولي والتأخير الزمني وغيرها من الظواهر التي تم مناقشتها في هذا المقال. وقد تبدو هذه الظواهر غير واقعية وعديمة الفائدة. ولكن الكثير من المشاهدات الفلكية والظواهر الطبيعية لم تجد لها تفسيرا سو التفسير المقدم من النظرية النسبية كذلك العلاقة بين تكافؤ الكتلة والطاقة وتطبيقاتها السليمة والحربية لهي اكبر دليل على قوة النظرية النسبية ومكانتها العلمية. **وهنا سوف نلخص النقاط الأساسية التي تم استعراضها في هذا المقال:**

(1) لا يوجد محور إسناد مميز ثابت يمكن ان نسند له الأحداث.

(2) كل قوانين الفيزياء تطبق بالتساوي على كافة محاور الإسناد.

(3) سرعة الضوء ثابتة في كل محاور الإسناد.

(4) لا يوجد حدثين في نفس اللحظة في محاور الإسناد المختلفة.

(5) الزمن يتباطأ كلما زادت السرعة وهذا فقط لمراقب في محور إسناد مختلف.

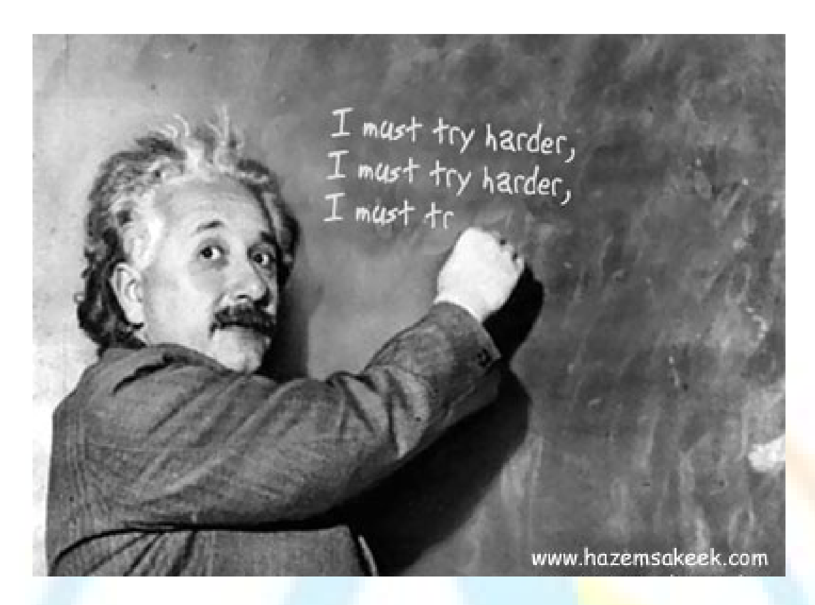
(6) الأجسام تنكمش كلما زادت سرعتها عندما يتم رصدها من محور إسناد مختلف.

(7) لا تتعامل النظرية النسبية مع الأحداث في حالة التسارع.

(8) تزداد كتلة الجسم بزيادة سرعته.

(9) لا يمكن لأي شيء ان يسافر بسرعة اكبر من سرعة الضوء.





جمال النظرية النسبية يكمن في دمج الأبعاد المكانية مع الأبعاد الزمنية ودمج الكتلة مع الطاقة.

وفي الختام أدعو الله أن أكون وفقت في شرح النظرية النسبية بشكل مبسط بدون الخوض في التعقيدات الرياضية، وان شاء الله لنا عودة مع النظرية النسبية بتوسع أكثر وتفاصيل أدق.



،،،،تم بحمد الله وتوفيقه،،،،

إلى اللقاء

د./ حازم فلاح سكيك

www.hazemsakeek.com

